



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
DISEÑO INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
TERRARIO DOMÓTICO**

Autor: Agustín Parra Abella

*Tutor:* Dr. Alberto Brunete González

*Departamento:* Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática  
y Física Aplicada

Madrid, junio 2017





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
DISEÑO INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

**TRABAJO FIN DE GRADO**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
TERRARIO DOMÓTICO

Firma Autor

*Firma Tutor*



**Título:** Diseño y construcción de un terrario domótico

**Autor:** Agustín Parra Abella

**Tutor:** Dr. Alberto Brunete González

## EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día ..... de ..... de ... en ....., en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



# Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mi abuelo, mi modelo a seguir, todo el apoyo que siempre he recibido de él. Sin lugar a duda este proyecto no sería posible sin sus lecciones diarias, en los que día a día me ha ido introduciendo en el mundo de la ingeniería.

A mis profesores y compañeros de universidad que me han enseñado todo lo necesario para llevar a cabo este proyecto. Y en especial a mi tutor Alberto Brunete por ayudarme a encaminarlo y darme las ideas que necesitaba.

A mi madre, padre y hermana y resto de mi familia por el apoyo que me han dado desde el primer día para finalizar el proyecto. Si no fuera por su perseverancia este proyecto habría sido imposible llevarse a cabo.





# Resumen

En la actualidad, muchas personas desean tener o tienen distintos tipos de animales en sus domicilios. No obstante, por falta de tiempo o cuidado hay algunas especies difíciles de mantener, especialmente las exóticas que necesitan de unas condiciones climáticas excepcionales.

Este trabajo final de grado, en adelante TFG, pretende automatizar el cuidado de un terrario, de manera que no sea necesario realizar manualmente las operaciones de control. Para ésto, se utilizan una gran cantidad de actuadores y sensores, asegurando la perfecta habitabilidad de los animales en un entorno cerrado, por ejemplo, un terrario.

El sistema será capaz de controlar el encendido y apagado de las luces, así como mantener la temperatura y humedad entre los valores correctos para la especie animal elegida. Además, se podrá controlar cada actuador de forma manual desde la página web alojada en el propio equipo.

Los actuadores a instalar serán los siguientes: equipo de luz, bomba de cascada, sistema de lluvia artificial, placa Peltier y cable calefactor.

En cuanto a los sensores, se contará con: sensor de temperatura y humedad, sensor de nivel de agua y sensor de luz LDR para la cámara.

En cuanto a la parte de multimedia, se dispondrá de un LCD donde poder ver la temperatura y humedad actual sin necesidad de internet y una cámara con visión nocturna, con la que se verá el terrario vía streaming en cualquier momento y desde cualquier lugar.

Por último, a través de la página web del sistema se podrá controlar y observar el sistema desde cualquier dispositivo, ya sea un ordenador, teléfono, tablet con cualquier sistema operativo instalado.

**Palabras clave:** terrario, autónomo, domótico.



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Resumen</b>	<b>vii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación del proyecto . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	1
1.3. Materiales utilizados . . . . .	2
1.4. Estructura del documento . . . . .	2
<b>2. Estado del arte</b>	<b>3</b>
2.1. Terrarios completos . . . . .	3
2.2. Controladores manuales . . . . .	5
2.3. Controladores automáticos . . . . .	6
2.4. Placas controladoras . . . . .	7
<b>3. Diseño</b>	<b>9</b>
3.1. Definición . . . . .	9
3.2. Análisis . . . . .	9
3.3. Planificación . . . . .	13
3.3.1. Inicial . . . . .	13
3.3.2. Final . . . . .	14
3.3.3. Conclusiones . . . . .	14
3.4. Presupuesto . . . . .	17
<b>4. Desarrollo hardware</b>	<b>19</b>
4.1. Hardware . . . . .	19
4.1.1. Terrario . . . . .	19
4.1.2. Controladores . . . . .	20
4.1.3. Sensores . . . . .	21
4.1.4. Actuadores . . . . .	23
4.1.5. Multimedia . . . . .	26
4.1.6. Piezas 3D . . . . .	27
4.2. Montaje del terrario . . . . .	29
4.3. Montaje de los sistemas electrónicos . . . . .	32

<b>5. Desarrollo software</b>	<b>35</b>
5.1. Software . . . . .	35
5.1.1. Sistema operativo de la Raspberry Pi . . . . .	35
5.1.2. Script de control . . . . .	37
5.1.3. Página web . . . . .	41
5.1.4. Macros de comunicación . . . . .	47
5.1.5. Gráfica de temperatura y humedad . . . . .	47
5.1.6. Streaming del vídeo . . . . .	49
5.1.7. Pantalla del LCD . . . . .	50
5.2. Diagramas de actividad . . . . .	51
5.3. Instalación . . . . .	56
<b>6. Resultados y discusión</b>	<b>59</b>
6.1. Pruebas . . . . .	59
6.2. Consumo . . . . .	66
6.3. Resultados . . . . .	66
6.4. Discusión . . . . .	77
<b>7. Conclusiones y futuros desarrollos</b>	<b>79</b>
7.1. Conclusiones . . . . .	79
7.2. Desarrollos futuros . . . . .	79
<b>8. Anexos</b>	<b>81</b>
8.1. Filamentos 3D . . . . .	81
8.2. Diagrama de conexiones . . . . .	85
8.3. Datasheet SHT10 . . . . .	86
<b>9. Bibliografía</b>	<b>87</b>

# Índice de figuras

2.1. Kit de terrario con pantalla y decoración . . . . .	4
2.2. Kit de terrario con pantalla y mesa . . . . .	4
2.3. Temporizador analógico . . . . .	5
2.4. Temporizador digital . . . . .	5
2.5. Control de temperatura . . . . .	6
2.6. Control de humedad . . . . .	6
2.7. Control de temperatura y humedad . . . . .	7
2.8. Raspberry Pi . . . . .	7
2.9. Arduino . . . . .	8
3.1. Ranitomeya . . . . .	10
3.2. Diagrama inicial de Gantt . . . . .	15
3.3. Diagrama final de Gantt . . . . .	16
4.1. Terrario . . . . .	19
4.2. Flujo de aire . . . . .	20
4.3. Raspberry Pi 3 . . . . .	20
4.4. DHT22: sensor de temperatura y humedad . . . . .	21
4.5. SHT10: sensor de temperatura y humedad . . . . .	22
4.6. Sensor de nivel de agua . . . . .	22
4.7. Relés . . . . .	23
4.8. Bomba de cascada . . . . .	24
4.9. Bomba de lluvia y boquilla . . . . .	24
4.10. Cable calefactor . . . . .	25
4.11. Bombilla UVB . . . . .	25
4.12. Portalámpara . . . . .	25
4.13. Sistem Peltier . . . . .	26
4.14. Cámara con IR y LDR . . . . .	27
4.15. LCD táctil . . . . .	27
4.16. Pilares impresos . . . . .	27
4.17. Rejilla impresa . . . . .	28
4.18. Carcasa célula Peltier . . . . .	28
4.19. Carcasa Raspberry impresa . . . . .	29
4.20. Acabado de la carcasa célula Peltier . . . . .	29
4.21. Desagüe . . . . .	29
4.22. Filtro bomba de cascada . . . . .	30
4.23. Falso fondo . . . . .	30
4.24. Falso fondo con calefactor . . . . .	31

4.25. Fibra de coco . . . . .	31
4.26. Plantas . . . . .	32
4.27. Boquilla de sistema de lluvia . . . . .	32
4.28. Raspberry con LCD . . . . .	32
4.29. Colocación del sensor de nivel . . . . .	33
4.30. Conector JST . . . . .	33
5.1. Logo de Raspbian . . . . .	36
5.2. Diagrama de casos de uso . . . . .	42
5.3. Estructura página web . . . . .	43
5.4. Iconos de temperatura . . . . .	43
5.5. Iconos de lluvia . . . . .	44
5.6. Iconos de luz . . . . .	44
5.7. Iconos de modo . . . . .	44
5.9. Favicon . . . . .	44
5.8. Botones . . . . .	45
5.10. Imagen de la cámara . . . . .	45
5.11. Menú . . . . .	46
5.12. Menú desplegable . . . . .	46
5.13. indicadores de temperatura y humedad . . . . .	46
5.14. Sector . . . . .	46
5.15. Fondo . . . . .	46
5.16. Gráfica de temperatura y humedad . . . . .	48
5.17. Pantalla LCD . . . . .	51
5.18. Diagrama de actividad modo automático . . . . .	52
5.19. Diagrama de actividad modo manual . . . . .	53
5.20. Diagrama de actividad web . . . . .	54
5.21. Diagrama del sistema general . . . . .	55
6.1. Manta térmica . . . . .	59
6.2. DHT22 oxidado . . . . .	62
6.3. DHT22 con funda . . . . .	62
6.4. Realimentación SHT10 . . . . .	63
6.5. Parámetros de la bombilla . . . . .	64
6.6. Comparativa de la cámara de día y de noche . . . . .	65
6.7. Página de inicio . . . . .	68
6.8. Página de control . . . . .	69
6.9. Página de ajustes . . . . .	70
6.10. Página del registro . . . . .	71
6.11. Terrario acabado . . . . .	72
6.12. Lluvia artificial . . . . .	73
6.13. Terrario acabado vista LCD . . . . .	74
6.14. Detalle del LCD . . . . .	75
6.15. Parte superior del terrario . . . . .	75
6.16. Conexiones de los relés . . . . .	76
6.17. Parte trasera del terrario . . . . .	76
8.1. Diagrama de conexiones . . . . .	85
8.2. Datasheet SHT10 . . . . .	86

# Índice de tablas

3.1. Componentes . . . . .	17
6.1. Consumos . . . . .	66





# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación del proyecto

Con el fenómeno de la globalización, cada vez es más sencillo adquirir ciertos animales autóctonos de casi cualquier lugar del mundo. Por ello, muchos de éstos necesitan para sobrevivir una serie de condiciones climáticas muy diferentes, difíciles de alcanzar fuera de sus correspondientes hábitats.

Este proyecto nace con la idea de poder mantener a estos animales en un terrario que mantenga automáticamente las condiciones necesarias para que cualquier tipo de especie pueda vivir en él. Además, teniendo que en cuenta la cantidad de horas que se pasa delante de dispositivos electrónicos, se pretendió poder leer en directo todos los parámetros del terrario desde cualquier dispositivo con conexión a internet. De esta manera se podrá ver a los inquilinos desde cualquier lugar y a la hora que se deseé.

Con ésto se pretende que todas las personas puedan tener un sistema complejo pero sencillo de utilizar, con sus animales favoritos y en cualquier rincón de la casa.

### 1.2. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es el de fabricar un pequeño terrario capaz de:

- Mantener la temperatura entre unos valores máximos y mínimos.
- Mantener la humedad entre unos valores máximos y mínimos.
- Leer en directo la temperatura y humedad del terrario.
- Ver en directo la actividad del terrario mediante una cámara, tanto de día como de noche.
- Modificar los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad desde cualquier localización.
- Poder hacer un control manual del terrario.
- Mostrar en una pantalla LCD los valores principales.

### 1.3. Materiales utilizados

Para la realización del proyecto se utilizarán diferentes componentes electrónicos entre los que destacan:

- Raspberry Pi 3 (figura 4.3).
- Sensor de temperatura y humedad SHT10 (figura 4.5).
- Sensor de nivel de agua (figura 4.6).
- Relés (figura 4.7).
- Bomba de cascada (figura 4.8).
- Bomba de agua de lluvia (figura 4.9).
- Cable calefactor (figura 4.10).
- Luz (figura 4.11).
- Sistema Peltier (figura 4.13).
- Cámara con luz IR y LDR (figura 4.14).
- Pantalla LCD táctil (figura 4.15).

### 1.4. Estructura del documento

A continuación y para facilitar la lectura del documento, se detalla el contenido de cada capítulo.

- En el capítulo 1 se realiza la introducción al proyecto.
- En el capítulo 2 se redacta el estado del arte.
- En el capítulo 3 se indica cómo se ha diseñado el proyecto, su definición, análisis, planificación y presupuesto.
- En el capítulo 4 se desarrolla la parte de hardware, los componentes y el montaje
- En el capítulo 5 se desarrolla el software empleado y se muestra cómo realizar la instalación.
- En el capítulo 6, se exponen las pruebas, resultados y se discute sobre éstos.
- Por último, en el capítulo 7, se finaliza con las conclusiones y desarrollos futuros.

## Capítulo 2

# Estado del arte

Actualmente no existe ningún dispositivo que pueda regular todos los parámetros de un terrario y que, a la vez, pueda mostrarlos en una página web o similar. Por ello, se enumeran los dispositivos más parecidos que existen actualmente. En primer lugar se verán los terrarios más completos que se venden actualmente. A continuación, se hablará de los controladores que existen para añadir a un terrario previamente fabricado. Éstos, se pueden dividir en dos tipos: manuales, que necesitan que sean activados por el usuario y automáticos, que de forma automática activan o desactivan los distintos actuadores. Los primeros tienen la ventaja de ser bastante económicos, mientras que los segundos son demasiado caros para la funcionalidad que tienen. El precio de los manuales es de 5-20 euros mientras que el de los automáticos es de 50-140 euros. Aun así, quedan bastante lejos del sistema que se quiere obtener con este proyecto.

### 2.1. Terrarios completos

En cuanto a terrarios completamente equipados, con los sensores y actuadores montados, "plug & play" o con la posibilidad de visualizar los datos remotamente en la actualidad no hay ninguno que se comercialice. Lo más parecido que se puede llegar a encontrar en las tiendas serían:

- Kit de terrario con pantalla y decoración  
Se trata de un kit (figura 2.1) en el que se vende el terrario vacío, algunas plantas de decoración artificial y la pantalla reflectante para colocar la bombilla. Por tanto, a parte de tener que realizar la decoración, habría que implantar, por lo menos, un termómetro e higrómetro para saber las condiciones de la urna. Aunque hay algunos kits que los incluyen, suelen ser aparatos de medida analógicos con muy poca precisión.
- Kit de terrario con pantalla y mesa  
Muy parecido al anterior pero en este caso (figura 2.2) en vez de con decoración artificial se vende con la mesa a medida. Es decir, al igual que el anterior, no tiene ningún tipo de sensorización y, como actuadores, solamente se dispone de una lampara.



Figura 2.1: Kit de terrario con pantalla y decoración



Figura 2.2: Kit de terrario con pantalla y mesa

Como se puede ver, se trata de sistemas muy básicos que apenas incluyen el sistema de iluminación, ni hablar, por tanto, de un sistema inteligente de control de temperatura y humedad o de retransmisión de vídeo vía streaming.

## 2.2. Controladores manuales

En éstos, es el usuario el que determina cuándo apagar o encender los diferentes dispositivos de un terrario. Ésto es peligroso ya que cualquier cambio en las condiciones exteriores pueden afectar al interior del terrario. Los usos más frecuentes son el encendido y apagado de luces y del sistema de calefacción (normalmente se enciende de noche y se apaga de día).

- Temporizador analógico



Figura 2.3: Temporizador analógico

Este tipo de controlador es el más sencillo. Únicamente se tiene que bajar o subir una serie de pestañas para indicar a qué hora se quiere que el sistema se apague o encienda. Normalmente, la resolución de éstos es de unos 15 minutos (figura 2.3).

- Temporizador digital



Figura 2.4: Temporizador digital

Muy parecidos a los anteriores pero, al ser digitales, pueden ser programados para que se activen o apaguen con una precisión de segundos. Ésto permite que se puedan utilizar en sistemas que se deben activar muy poco tiempo como, por ejemplo, el sistema de lluvia artificial (figura 2.4).

### 2.3. Controladores automáticos

Estos controladores activan o desactivan automáticamente su salida para mantener la temperatura/humedad entre unos valores establecidos manualmente.

- Control de temperatura

Tiene un sensor de temperatura con el que es capaz de saber la temperatura interior del terrario para activar/desactivar el sistema de calefacción en función de las temperaturas que se hayan programado con anterioridad (figura 2.5).



Figura 2.5: Control de temperatura

- Control de humedad

Al contar con un sensor de humedad, se puede hacer que se active el sistema que aumenta la humedad, normalmente una bomba de cascada, a partir de los parámetros configurados previamente (figura 2.6).

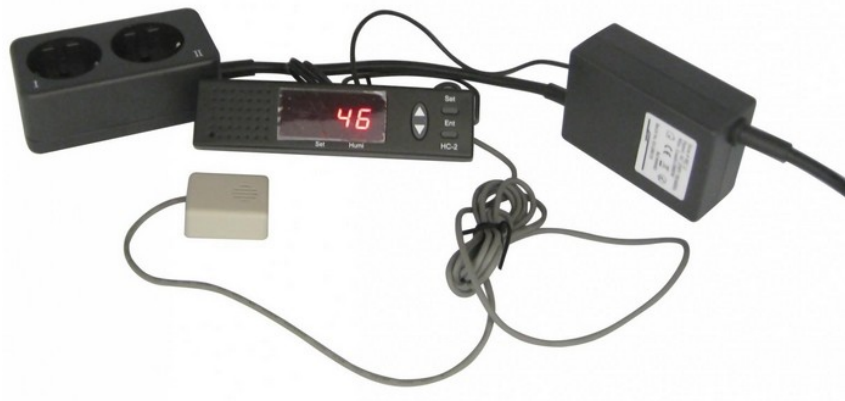


Figura 2.6: Control de humedad

- Control de temperatura y humedad

Se trata de una mezcla de los dos controladores anteriores. Simplemente tiene un sonda que mide tanto la temperatura y humedad y activa/desactiva cada salida de manera independiente (figura 2.7).



Figura 2.7: Control de temperatura y humedad

## 2.4. Placas controladoras

Cabe mencionar también las placas controladores, ya que es el principal componente del sistema. Actualmente no existe ninguna diseñada específicamente para este fin, por lo que se menciona las placas que se puedan llegar a utilizar si se quiere diseñar un sistema como el objetivo:

- Raspberry Pi

Potente placa con microprocesador capaz de correr diferentes sistemas operativos. Además, permite el fácil control de salidas y entradas digitales (GPIO) (figura 2.8).

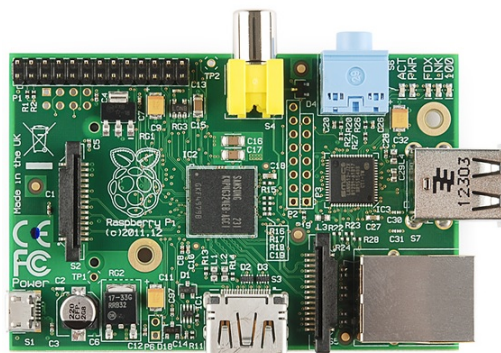


Figura 2.8: Raspberry Pi

- Arduino

Se trata de una pequeña placa dotada de un microcontrolador capaz de controlar salidas y entradas tanto digitales como analógicas. A diferencia de la Raspberry pi, no se pueden instalar sistemas operativos (figura 2.9).

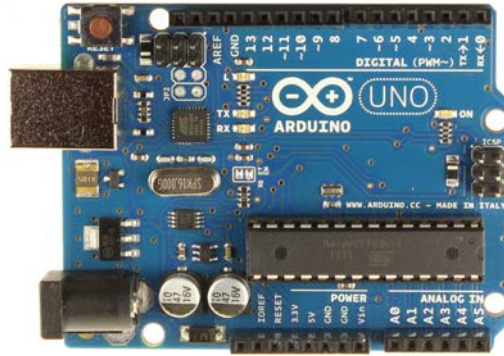


Figura 2.9: Arduino



## Capítulo 3

# Diseño

En este capítulo se describe la primera gestión del proyecto, es decir el estudio y diseño del mismo. Para ello se comenzará definiéndolo, para después analizarlo y planificarlo.

### 3.1. Definición

Antes de comenzar con el análisis del proyecto, se plantea qué es lo que se necesita y qué objetivos se quieren cumplir.

Como principal objetivo, se sabe que se quiere automatizar un terrario o urna para que se mantengan una serie de parámetros en su interior (temperatura y humedad), de tal forma que la vida en su interior sea posible. Por tanto, se llega a la conclusión de que se necesita por una parte el terrario físico, urna o acuario y, por otro, los sensores, actuadores y demás sistemas de control.

A continuación, se plantea el poder controlar todos los parámetros del mismo de forma remota. Para ello, se necesitará una etapa de programación y definir cómo realizar este control, ya sea a través unos botones físicos, comandos enviados por SSH, mediante una página web...

Aprovechando este control remoto, se plantea el poder visualizar en directo todos los datos e incluso imágenes del terrario en directo. Para ello se podría diseñar una aplicación para Android, por ejemplo o crear un servidor web para acceder a todos estos datos y controles de manera remota.

### 3.2. Análisis

Una vez terminada la definición, se comienza con la fase de análisis, en la que se analizará en profundidad todos los requisitos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

En primer lugar, se observa que para implementar todo el sistema, hacer las pruebas correspondientes y tener un modelo real se necesitará disponer, lógicamente, de

un terrario o urna.

Tras revisar los distintos tipos de terrario se llega a la conclusión de que, dependiendo del tipo de animal que se quiera introducir, se necesitará que tenga unas cualidades específicas. En este caso, como animal objetivo a mantener, se eligen unos anfibios denominados Dendrobates (figura 3.1) los cuales necesitan de unas condiciones muy específicas para sobrevivir. Ésto puede complicar el proyecto, no obstante, se pretende que el sistema resultante sirva para todos los animales independientemente de su dificultad de mantenimiento. Continuando con los Dendrobates y tras estudiar sus necesidades, se considera elegir un terrario de pequeño tamaño para mantener una pareja. Además, al tratarse de una especie arbórica, la urna tiene que tener más altura que base. Por ello, finalmente, se opta por un tamaño final de 45x45x60cm.



Figura 3.1: Ranitomeya

Una vez decidido el punto anterior, habrá que acondicionar el terrario para que los animales estén cómodos. Obviando la parte eléctrica, se conoce que los animales deben tener un substrato donde vivir y una cierta decoración. Especialmente, para este tipo de animales éste es un apartado complejo, pues se intentará simular el hábitat de selva tropical en él. Por ello, se necesitará tener una fase de adecuación o decoración del terrario.

En cuanto a los sistemas electrónicos, será necesario asegurarse de que sean los suficientes como para cubrir todas las necesidades de los inquilinos como:

- Se tendrá que iluminar el terrario para que, en el caso de estar alejado de ventanas, los animales tenga el ciclo correcto de luminosidad. Además, ésto puede afectar al ciclo reproductivo, por lo que es importante controlarlo. Éste sería un apartado bastante sencillo que con una simple luz se resolvería. No obstante, el proyecto intenta dar un paso más, por lo que se plantea utilizar bombillas especiales que proporcionen la radiación correcta a los animales y a las plantas.

Tras estudiar el mercado, se opta por usar bombillas UVB, de bajo consumo, especiales para terrarios. Ésto, a parte de ayudar a tener unos animales más sanos, permitirá decorar el terrario con plantas y musgos naturales. Como no puede ser de otra manera, la colocación de esta luz tiene que estar situada en la parte superior del terrario, simulando al Sol.

Se plantea también el incluir un modo noche que active una bombilla especial que simule la luz nocturna. No obstante, debido a las pequeñas medidas del terrario se tendrá que descartar. Todas estas bombillas de las que se habla son incandescentes o fluorescentes. Aunque se analiza el poder utilizar bombillas LED, se descarta esta opción ya que no pueden suministrar la radiación UVB que los animales y plantas necesitan.

- Una vez analizado el sistema de iluminación, se necesitará mantener la temperatura en el interior del habitáculo para que se asemeje a las de sus condiciones naturales. Normalmente, lo único que se necesitará es aumentar la temperatura, ya que las temperaturas tropicales son elevadas y difíciles de igualar en otras latitudes. Por tanto, se estudian los diferentes sistemas de calefacción que se podría implementar:
  1. No tener ningún sistema de calefacción y que la luz del terrario caliente el habitáculo.
  2. Añadir una bombilla infrarroja junto a la bombilla de luz.
  3. Utilizar una manta térmica colocada debajo del cristal inferior de la urna.
  4. Utilizar un cable calefactor colocado dentro del terrario.

Tras estudiar las distintas posibilidades, se descartan gran parte de ellas. En primer lugar, el no utilizar sistema de calefacción limitaría mucho el uso del sistema en diferentes lugares y para numerosos animales. Solo se podría utilizar para animales de ciertas regiones o para animales muy fáciles de mantener. Hay que tener en cuenta que en invierno las temperaturas pueden disminuir por debajo de 0°C.

La bombilla infrarroja sería una buena idea para muchos animales como reptiles pero, por la noche, proporciona una luz roja molesta si el dueño tiene el terrario en su dormitorio. Su funcionamiento es muy simple, simplemente se tendría que alimentar una bombilla infrarroja a 220V, que irradiaría calor, subiendo la temperatura del terrario.

En cuanto a la manta térmica, también parece una buena idea, por lo que no se descarta su uso.

Por último, queda el cable calefactor, un sistema bastante usado y proporciona bastante calor. Además, se puede instalar en el interior del terrario debido a que

algunos fabricantes lo hacen impermeable. En la sección de pruebas se puede ver por qué, finalmente, se decide utilizar el cable calefactor.

- Muchos animales y, en concreto los elegidos, necesitan unos valores muy determinados de humedad en el habitáculo. Por ejemplo, los reptiles necesitarán de unos valores muy bajos mientras que los anfibios requerirán de una humedad cercana al 100 %. Para regularla se estudian los diferentes sistemas que se pueden utilizar.
  1. En primer lugar se pensó en el método más utilizado a día de hoy de utilizar un spray de agua para humedecer el interior del terrario. Obviamente, se descarta este sistema pues es manual y el objetivo del terrario es automatizar todos los sistemas posibles.
  2. La segunda opción es la de incorporar una charca para aumentar la temperatura ambiente. Se trataría de un sistema pasivo y fácil de implementar. No obstante, tras las pruebas pertinentes, se descarta la opción para aumentar la humedad ya que prácticamente no se conseguiría aumentarla. Aun así, se trata de un adorno bastante visual en el terrario y que puede venir bien para los anfibios y demás animales, por lo que se decide mantener la idea. Además, puede permitir que ciertos anfibios depositen allí a sus crías para que crezcan.
  3. La siguiente idea es, junto a la charca, llenar la parte inferior del terrario, a modo de falso fondo, de agua. Ésto consigue aumentar más la temperatura pero no de forma definitiva. No obstante, este agua permitirá colocar una cascada de agua en el terrario con una bomba en su interior capaz de bombear el agua. La unión de ambas podría conseguir aumentar en gran medida la humedad, llegando prácticamente al 100 % en algunas circunstancias. Cabe destacar también que, si se dispone de un sistema de calefacción inferior, el agua se calentará y, por evaporación, contribuirá a aumentar la humedad.
  4. Por último, se plantea el utilizar un sistema de lluvia artificial para asegurar que en ningún momento la humedad desciende más de lo necesario. Además, favorece al crecimiento de las plantas interiores y aporta un aspecto visual muy llamativo.
- Una vez definida la parte más importante del proyecto, se tendrá que pensar que el sistema estará diseñado para animales de todo tipo y para montarlo en cualquier lugar. Ésto lleva a deducir que habrá momentos en los que se necesite enfriar el terrario.

Para ello, lo primero en lo que se piensa es directamente en apagar todos los sistemas que pudieran dar calor y así refrigerar el habitáculo. El problema de

este método es evidente. Si en la localización donde se encuentra el sistema se tiene una temperatura elevada de, por ejemplo 35°C este tipo de "refrigeración" será en vano.

Dado que enfriar una habitación es mucho más difícil que calentarla, son pocas las posibilidades con las que se cuenta. La única en la que se piensa es en diseñar un sistema de aire acondicionado. Es decir, que expulse aire frío. Para esto, se podría utilizar una célula Peltier que, junto a sus disipadores y ventiladores oportunos, permitirá introducir aire frío en el sistema.

Una vez analizada la parte hardware del sistema, se tendrá que estudiar cómo se va a controlar esto de manera remota, cómo visualizar los datos, interpretarlos... Es decir, cómo se va a realizar la parte software del proyecto.

En primer lugar se conoce que se necesita que los actuadores se activen de manera automática, por lo que se necesitará de un software capaz de activar las salidas del sistema. Esto se podría conseguir con placas como Arduino o Raspberry. Además, se quiere visualizar los datos del terrario en directo de manera muy visual. Para esto se puede utilizar una pantalla LCD o de cualquier otra tecnología, aunque si se quiere visualizar los datos en directo la mejor opción sería retransmitirlos como, por ejemplo, a través de una página web o de una aplicación de móvil/ordenador.

También se desea poder controlar de manera manual los diferentes actuadores utilizando, por ejemplo, botones. No obstante, ya que se quiere que todo sea más automático, lo mejor será utilizar la página web o la aplicación para todo, ya sea para visualización como para control. Tras estudiarlo, como se quiere poder acceder al sistema desde cualquier dispositivo, se opta porque el control y visualización se realice desde una página web. Así se asegurará una total compatibilidad con todos los dispositivos.

También, se tendrá que diseñar el software de control automático del terrario, para que los actuadores se activen en función de los sensores. Es decir, el software que llevará la placa controladora (Arduino, Raspberry...).

Por último, para asegurarse del correcto funcionamiento, habrá que realizar una serie de pruebas antes de introducir a los inquilinos.

### 3.3. Planificación

#### 3.3.1. Inicial

Visto el aparatado anterior, se desarrolla un diagrama Gantt para asignar a cada parte del proyecto un tiempo específico en función de su complejidad y espacio de tiempo disponible. De esta manera el sistema quedará acabado en el plazo deseado. Para la elaboración de este diagrama de Gantt se han calculado las siguientes duraciones:

- 4 semanas para analizar el proyecto y realizar su planificación.
- 2 semanas para fabricar y montar el terrario.
- 4 semanas para montar los sistemas electrónicos.
- 3 semanas para realizar la programación del sistema.
- 2 semanas de pruebas finales.

Quedando un digrama de Gantt como el de la figura 3.2.

### 3.3.2. Final

Una vez finalizado el proyecto, se obtiene el tiempo real en el que se ha trabajado en cada área:

- 4 semanas para analizar el proyecto y realizar su planificación.
- 5 semanas para fabricar y montar el terrario.
- 4 semanas para montar los sistemas electrónicos.
- 6 semanas para realizar la programación del sistema.
- 4 semanas de pruebas finales.

Quedando un digrama de Gantt como el de la figura 3.3.

### 3.3.3. Conclusiones

Por último, se analizan ambos diagramas y se percibe que algunos aspectos han llevado más tiempo del estipulado. En concreto el montaje del terrario, la programación y las pruebas realizadas.

Todos estos retrasos han sido ocasionados por la complejidad especial de estos apartados. Además, durante la elaboración del sistema se han ido implementando características que aportan un valor añadido al proyecto y que ofrecen más posibilidades al usuario, ya sea por disponer de más actuadores como, por ejemplo, de tener una interfaz más intuitiva. Mencionar también que se han realizado multitud de pruebas para asegurarse de que el sistema funcione perfectamente lo que, lógicamente, ha alargado la duración general del proyecto.

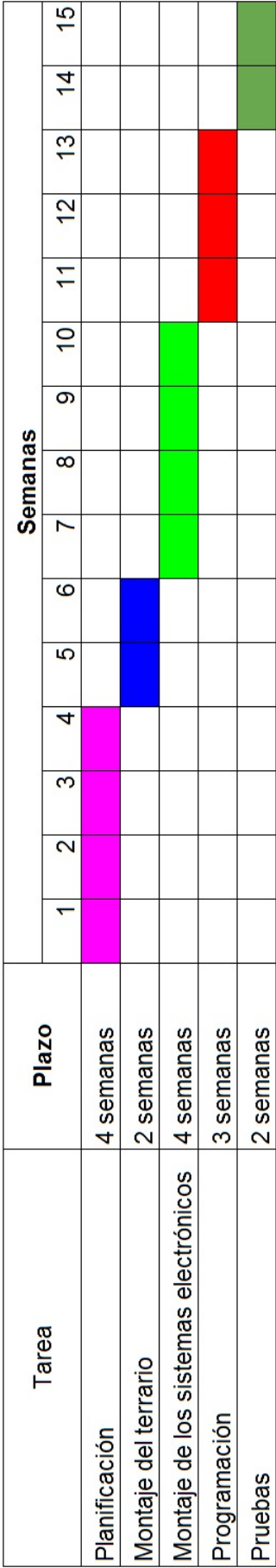


Figura 3.2: Diagrama inicial de Gantt

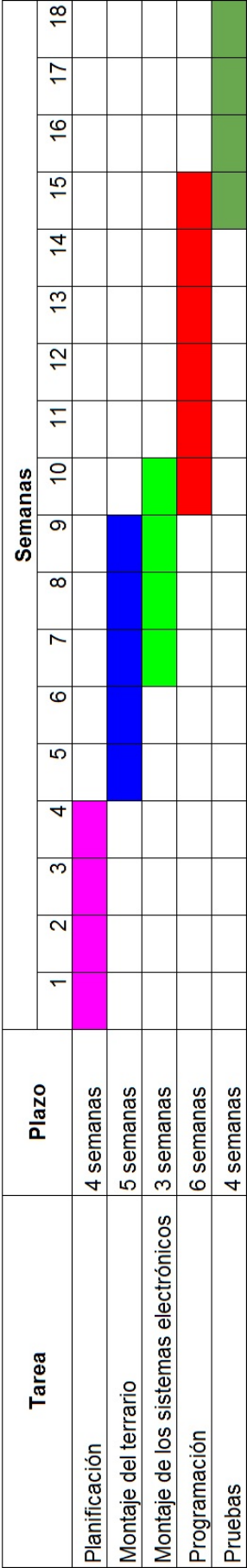


Figura 3.3: Diagrama final de Gantt



### 3.4. Presupuesto

A continuación se detalla el coste total del proyecto, donde se incluye el precio de todos los materiales utilizados.

Tabla 3.1: Componentes

Componente	Unidades	Precio unidad	Precio final
Raspberry Pi 3	1	40	40
Cámara IR	1	32	32
DHT22	1	6	6
Cable calefactor 25W	1	36	36
Bobina de PLA	1	19,90	19,90
Sensor de nivel	1	3	3
LCD táctil	1	13	13
Terrario 30x30x45cm	1	60	60
Bombilla	1	18	18
Pantalla/Reflector	1	10	10
Plantas	1	15	15
Sustrato de fibra de coco	1	4	4
Decoración	1	10	10
Relés	1	5	5
Bomba de lluvia	1	20	20
Boquilla	1	10	10
Manguito neumático 1m	1	3	3
Bomba de cascada	1	9	9
Sistema Peltier	1	15	15
Malla de drenaje	1	3,5	3,5
SHT10	1	39,8	39,8
Total			332,4€



## Capítulo 4

# Desarrollo hardware

En este apartado se detallará toda la realización hardware del proyecto. Se empezará hablando de los componentes y después del montaje del terrario y de los sistemas electrónicos.

### 4.1. Hardware

#### 4.1.1. Terrario

En primer lugar se necesitará la urna que albergará todos los sistemas, las plantas y los animales (figura 4.1).



Figura 4.1: Terrario

Se parte de una urna de 45x45x60cm con sistema de ventilación y sistema de fácil apertura. Se elige este terrario por el tipo de animales que se van a mantener durante el desarrollo del proyecto. No obstante, se podrá elegir cualquier otra medida.

Este tipo de terrario está diseñado para evitar la condensación de agua gracias a la doble ventilación. Dispone de unas rendijas delanteras y la parte superior es de rejilla en vez de cristal para que aporte el flujo de aire óptimo que los animales necesitan (figura 4.2). También, ayuda a crear una diferencia de temperaturas para que los animales elijan dónde colocarse. Además, la parte superior removible es idónea para trabajar dentro del terrario. En la parte superior trasera, cuenta con un sistema que permite pasar los cables sin que los animales o insectos se escapen. Por último, cuenta con un sistema de cierre para que las puertas no se abran por accidente.

Se elige este terrario ya montado y no otro por las ventajas anteriores. No obstante, se puede montar un terrario de cualquier tamaño cortando lo cristales a medida y utilizando para su sellado silicona neutra, no perjudicial para los seres vivos.

#### 4.1.2. Controladores

Una vez elegido el terrario se tendrá que elegir uno de los componentes más importante del proyecto, la placa controladora, capaz de llevar a cabo todas las funcionalidades sin necesidad de añadir una segunda. En primer lugar, se descarta el uso de los microcontroladores ya que se quiere una interfaz intuitiva a través de un página HTML y con una cámara que retransmitiera en streaming. Si se hubiera querido hacer todo esto con una placa Arduino o similar iba a suponer un gran esfuerzo. Además, el microcontrolador ATmega 328, por ejemplo, no es tan potente como los microprocesadores de otro tipo de placas más preparadas para contenidos multimedia. Esto lleva a pensar en la famosa placa Raspberry (figura 4.3).



Figura 4.2: Flujo de aire



Figura 4.3: Raspberry Pi 3

En la actualidad hay muchas versiones de esta placa, pero se elige la versión 3, el último modelo, ya que incluye conectividad Wi-Fi de serie, por lo que no se tendrá que añadir módulos USB ni similar. Se elige esta placa y no otra por las enormes ventajas que ofrece:

- En primer lugar cuenta con sistema operativo basado en Linux, lo que le dota de gran potencial y facilidad a la hora de implementar el sistema.
- Dispone de Wi-Fi integrado, lo que permite instalar el sistema sin necesidad de tener un cable ethernet.

- Permite instalar un servidor donde se colocará la página web del terrario.
- Puede correr los diferentes scripts mientras todo lo demás se ejecuta.
- Tiene pines de entrada y salida suficientes para controlar el sistema.
- Tiene un conector específico para una cámara.
- Permite la sencilla instalación de una pantalla LCD.
- Se alimenta por el estándar 5V microUSB.
- Hardware potente necesario para mantener el servidor y el streaming de la cámara.
- Coste muy bajo.

#### 4.1.3. Sensores

Respecto a los sensores, se necesitarán dos tipos. En primer lugar un sensor que medirá la temperatura y la humedad y, en segundo lugar, otro sensor que medirá el nivel de agua del depósito de la bomba de agua de lluvia.

- Sensor de temperatura y humedad DHT22



Figura 4.4: DHT22: sensor de temperatura y humedad

Se trata de un sensor muy económico (figura 4.4) que mide la temperatura y la humedad de la sala donde se instale que, en este proyecto, la instalación se hará en el interior del terrario. Ofrece un rango de lectura de valores del 0 al 100 % de la humedad y de  $-40$  a  $80^{\circ}\text{C}$  para la temperatura. En cuanto al error de lectura, se tiene  $\pm 2\%$  en humedad y  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en temperatura.



Figura 4.5: SHT10: sensor de temperatura y humedad

- Sensor de temperatura y humedad SHT10

Se trata de un sensor de mayor calidad que el DHT22. Cuenta con un cubrimiento de acero inoxidable para que pueda aguantar cualquier condición climática dentro del terrario. Ofrece un rango de lectura de valores del 0 al 100 % de la humedad y de  $-40$  a  $123.8^{\circ}\text{C}$  para la temperatura. En cuanto al error de lectura, se tiene  $\pm 4,5\%$  en humedad y  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en temperatura (figura 4.5).

- Sensor de nivel de agua



Figura 4.6: Sensor de nivel de agua

Se utilizará para detectar cuándo hace falta rellenar el agua de la bomba del sistema de lluvia. Es muy importante ya que, si el sistema se queda sin agua, la bomba podría llegar a quemarse. Gracias a su flotador se sabrá si, a la altura donde se instale, se tiene agua o no en el depósito (figura 4.6).

#### 4.1.4. Actuadores

En cuanto a los actuadores, se necesitarán bastantes tipos diferentes para poder mantener todos los parámetros necesarios controlados. Entre éstos se incluyen bombas de circulación de agua, relés, resistencias, bombillas, célula Peltier y ventiladores.

- Relés

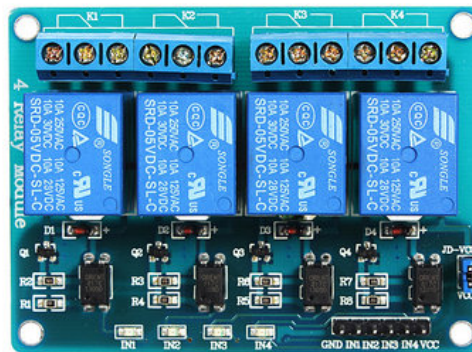


Figura 4.7: Relés

Se encargarán de activar los distintos actuadores. Ya que se van a utilizar desde una Raspberry Pi, se necesitará que se activen a 5V. En cuanto a la tensión de salida, se alimentan a 220V AC y a 12V DC respectivamente ya que es a este voltaje al que funcionan los componentes que van a activar/desactivar (figura 4.7). Se necesitarán 4 con salida a 220V para la luz, la bomba de cascada, la bomba de lluvia y el cable calefactor y otro relé más con salida a 12V para alimentar el sistema Peltier.

- Bomba de cascada

Pequeña bomba de agua (figura 4.8) que creará una cascada de agua en el terrario. Se utilizará una pequeña de 300l/h ya que no se quiere que el caudal sea muy elevado. Este caudal se podrá modificar de manera manual utilizando una pequeña rueda incorporada que abre o cierra la entrada de agua.

- Bomba de agua de lluvia

Bomba de alta presión (figura 4.9) utilizada para impulsar agua a presión a través de las boquillas instaladas en el terrario. Aunque existen bombas especiales para esto, en este proyecto se utiliza la bomba de agua de una cafetera, que ofrece una presión bastante elevada. Se necesitará esta presión para que el



Figura 4.8: Bomba de cascada



Figura 4.9: Bomba de lluvia y boquilla

agua salga pulverizada por la boquilla para conseguir un incremento de humedad lo más alto posible.

- Cable calefactor

Cable con resistencia (figura 4.10) que se calienta para aumentar la temperatura del terrario. Es importante que sea resistente al agua ya que estará trabajando con una humedad muy e, incluso, sumergido. La tensión de alimentación es de 220V. El largo dependerá del tamaño del terrario, para este proyecto se utilizará uno de 4.5m y 25W de potencia.





Figura 4.10: Cable calefactor

- Luz

Bombilla UVB (figura 4.11) que ofrece la luz y radiación adecuada a todo el terrario. Se coloca en una pantalla especial (figura 4.12) que refleja la luz de la bombilla, de manera que no se desaproveche luz ni calor. Para el tamaño elegido del terrario se utiliza una potencia de 26W.



Figura 4.11: Bombilla UVB



Figura 4.12: Portalámpara

- Célula Peltier



Figura 4.13: Sistem Peltier

Un conjunto que incluye una célula Peltier, un disipador y dos ventiladores (figura 4.13). Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en verano, es necesario añadir un sistema de enfriamiento. Con ésto, se hará que la temperatura disminuya en caso de que sea excesiva. Todo el conjunto se alimenta a una tensión de 12V. El disipador y ventilador de mayor tamaño refrigerará y extraerá el calor de la célula, mientras que los más pequeños introducirán el aire frío al terrario. La célula utilizada es de 70W.

#### 4.1.5. Multimedia

Además, para la parte más visual del proyecto se necesitarán una serie de elementos multimedia.

- Cámara con luz IR y LDR

Se trata de una pequeña cámara con gran angular (figura 4.14) para poder visualizar todo el terrario. Además, cuenta con conexión directa a la Raspberry para no tener que utilizar un puerto USB. Por último, cuenta con dos luces IR y dos sensores LDR que activarán las luces IR cuando se haga de noche. Con ésto se tendrá visión nocturna del terrario.

- Pantalla LCD táctil

Un LCD táctil (figura 4.15) para poder visualizar los datos del terrario sin necesidad de un dispositivo conectado a internet. El modo de tactilidad del módulo elegido es resistiva, ya que se trata de la tecnología más barata. El tamaño de



Figura 4.14: Cámara con IR y LDR



Figura 4.15: LCD táctil

la pantalla es de 3.5", suficiente como para poder leer en directo los valores más importantes del terrario.

#### 4.1.6. Piezas 3D

Por último, se necesitará una serie de piezas estructurales específicas. Dado que la impresión 3D es un fenómeno que poco a poco va teniendo más relevancia y que facilita mucho la fabricación de algunas piezas, se decide a diseñar ciertas piezas en 3D para el montaje del terrario. Para el diseño de todas las piezas se utiliza el programa Rhinoceros.

Las primeras piezas a diseñar serán las que soportan el falso fondo del terrario. Lo que se

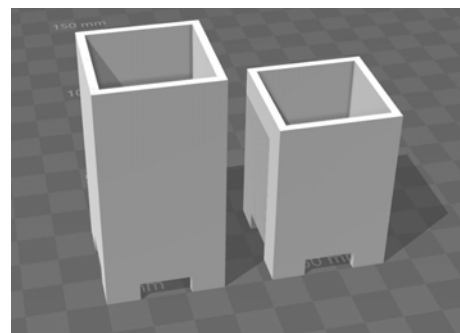


Figura 4.16: Pilares impresos

quiere con éstas es conseguir un espacio suficiente como para almacenar el agua de la bomba de cascada en el interior del terrario. Para ello, se diseñan unos pilares de dos tamaños distintos (figura 4.16). El más grande irá colocado en la parte posterior y el más pequeño en la parte delantera. De ésta manera, cuando se coloque encima una rejilla, se creará una inclinación suficiente como para que el agua de la cascada fluya desde la parte trasera hasta la parte delantera, donde se encontrará el pequeño estanque.

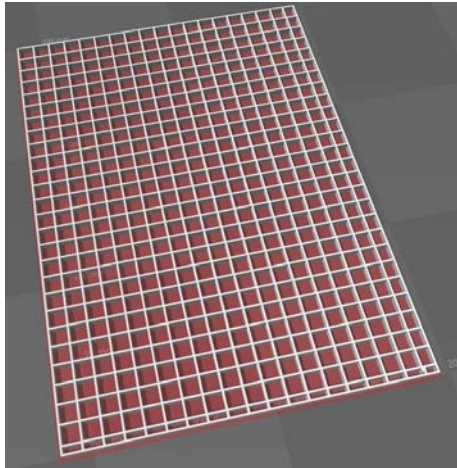


Figura 4.17: Rejilla impresa

Le rejilla mencionada anteriormente también ha sido diseñada en 3D. Se trata de una simple malla que permitirá el paso del agua de la parte superior del terrario al falso fondo pero, a su vez, sujetará el sustrato para que no caiga hacia el agua de la cascada (figura 4.17).

Para colocar la Raspberry pi y el LCD en un sitio visible también se utiliza la tecnología 3D. Para ésto, se utiliza uno de los múltiples diseños subidos a la página Thingiverse. El diseño llamado Raspberry Pi Display Case. Es una carcasa para la Raspberry Pi 2/3 diseñada para albergar el LCD elegido. Así se podrá ver el LCD en todo momento (figura 4.19) quedando una carcasa elegante donde no se verán las conexiones.

No obstante, a este diseño se le ha tenido que hacer un pequeño orificio lateral por el que se introducirán todos los cables de los sensores y actuadores.

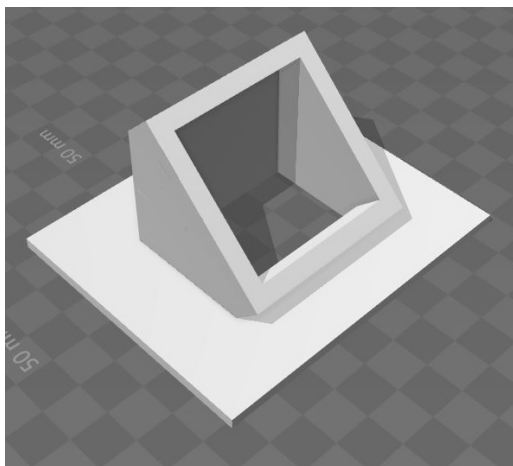


Figura 4.18: Carcasa célula Peltier

La siguiente pieza que se diseña es la que va a soportar la célula Peltier y sus correspondientes ventiladores (figura 4.18). Para ello, se crea una pieza desde cero que permita colocar la célula con una inclinación de 45°. Se diseña de esta forma porque si no los ventiladores chocarían con el sistema de iluminación. La pieza ha de tener un conducto interior por donde circulará el aire frío hacia el terrario. Se aprovecha este conducto para alojar al pequeño ventilador de 40mm que, a su vez, hará de soporte de todo el conjunto. En la figura 4.20 se puede ver el acabado y montaje final.

Para imprimir estas piezas se utiliza el material PLA, ya que se trata de un material biocompatible que no va a perjudicar a los animales. En cuanto a los parámetros de impresión, se utiliza una altura de capa de 0.3mm, ya que no se necesita que la

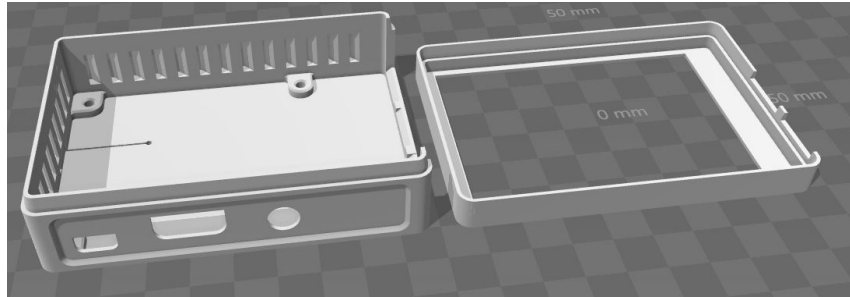


Figura 4.19: Carcasa Raspberry impresa



Figura 4.20: Acabado de la carcasa célula Peltier

calidad sea muy elevada, un relleno del 20 %, tres capas sólidas tanto por arriba como por abajo y un grosor de pared de 0.8mm.

## 4.2. Montaje del terrario

En esta sección se explicará el proceso de montaje del terrario donde los animales van a vivir.

Una vez seleccionado el terrario a utilizar, se comienza con el montaje del falso fondo y el desagüe. El falso fondo permitirá a la bomba de cascada bombear el agua del interior del terrario y, además, aumentará la temperatura del mismo. El desagüe (figura 4.21) permitirá vaciar el agua en caso de querer transportar el terrario o en caso de que el volumen de agua aumente demasiado. En este caso, para vaciar el agua, se coloca un tubo de 4mm de diámetro interno y se protege con un pequeño filtro hecho con malla mosquitera. Este filtro servirá para que el tubo no se atasque con restos de sustrato. Todo esto va adherido al cristal inferior del terrario mediante silicona neutra. Para extraer el agua se podrá



Figura 4.21: Desagüe



conectar una bomba o extraer el agua mediante gravedad. Otra posible solución para el desagüe sería la de agujerar el cristal inferior del terrario y colocar una válvula. No obstante, no se elige este método para no dañar el cristal y disminuir las posibles filtraciones de agua que puedan generar, ya que si el terrario perdiera agua, a parte de dañar el mueble donde iría colocado, podría vaciar el nivel de agua disminuyendo drásticamente la humedad.

Después de montar el sistema de desagüe se comienza con el falso fondo. Para ello, se diseñan una serie de piezas en 3D para que sean impresas posteriormente. Estas piezas dejarán el espacio suficiente para almacenar el agua. Las piezas diseñadas son dos soportes o pilares de diferentes tamaños (figura 4.16) que se colocarán de manera que la parte posterior esté más elevada que la anterior, facilitando que el agua de la cascada se mueva de la parte trasera a la delantera.



Figura 4.22: Filtro bomba de cascada



Figura 4.23: Falso fondo

Encima de estos pilares se colocará otra pieza diseñada en 3D e impresa que hará de rejilla para que el sustrato no llegue al agua del doble fondo (figura 4.17).

Para la impresión en 3D de los anteriores componentes se realiza un estudio de los diferentes materiales con los que se puede imprimir, sección 8.1. Tras revisar las características de cada material, como se indica más arriba, se elige utilizar el PLA debido, principalmente, a su baja toxicidad. Además, soporta una temperatura más que suficiente para que las piezas no se deformen. Por último, gracias a su fácil impresión, se consigue que piezas difíciles de imprimir en 3D como la rejilla, se impriman sin que haya el denominado efecto "warping". Este efecto, característico de algunos materiales como ABS o HT, provoca que las esquinas de las piezas se despeguen de la cama durante su impresión.

Una vez impresas, se colocan en su posición final creando una pequeña charca en una de las esquinas. Para que los animales no se puedan meter dentro de este falso fondo se rodea esta charca de tela mosquitera.

A continuación, se coloca la bomba que va a mover el agua de la cascada y, alrededor de ésta, se pone otro filtro, también con malla mosquitera, para evitar que restos de sustrato taponen la bomba (figura 4.22). En la figura 4.23 se puede ver el acabo final del fondo.

Por encima del falso fondo se coloca una malla de drenaje para que el agua se filtre con facilidad y, por último, el sistema de calefacción. Consta de un cable con resistencia que se calienta aumentando la temperatura del terrario. Se coloca de tal manera que abarque casi toda la totalidad de la superficie y se aumenta ligeramente la separación entre el cable en determinados lugares para que existan sitios con mayor y menor temperatura. Ésto permitirá a los animales elegir el lugar donde colocarse en función de la temperatura (figura 4.24).



Figura 4.24: Falso fondo con calefactor

A continuación, se coloca 2cm de sustrato de fibra de coco, un sustrato natural y especial para este tipo de terrarios, asegurándonos de que el fondo conserva la inclinación que le se le dio a la hora de montar el falso fondo.

Después, se fabrica el fondo trasero para dar a los animales más superficie y diferentes alturas donde colocarse. Para ello, se utiliza una plancha de poliestileno y, encima de ésta, se esparce espuma de poliuretano, una espuma que se expande creando una superficie muy realista similar a la roca, perfecta para dar al terrario un aire tropical. Encima de esta espuma, de color blanco, se tendrá que pegar encima más fibra de coco para tener un acabado más natural (figura 4.25). Para pegar esta fibra se vuelve a utilizar silicona neutra. Es muy importante utilizar siempre silicona neutra para no perjudicar la vida de los animales. Una vez seca la silicona, se hace un agujero en la parte trasera del fondo por donde caerá el agua formando la cascada y se conecta el tubo de la bomba a este agujero.



Figura 4.25: Fibra de coco

Después, se colocan las plantas, musgos, lianas y escondites a modo de decoración (figura 4.26). En este caso, se utilizan plantas que aguanten condiciones tropicales como, por ejemplo, bromelias o musgos como el musgo de Java. En cuanto a las lianas y escondites, habrá que tener cuidado de no introducir compuestos tóxicos o parásitos en el interior del sistema, ya que este tipo de animales son bastante vulnerables a estos factores de riesgo. Para matar cualquier parásito se hierve antes todos los materiales que se van a introducir.



Figura 4.26: Plantas

Por último, en la parte superior mallada del terrario, se realiza un agujero para introducir la boquilla del sistema de lluvia (figura 4.27). Con una sería suficiente para el tamaño de terrario elegido. Además, la boquilla elegida cuenta con dos codos, de manera que se pueda rotarla 360° para posicionarla de la mejor manera posible. A continuación, se conecta la tubería neumática con el rácor tanto a ésta como a la bomba de presión.

Con ésto se habrá terminado el montaje del terrario.

### 4.3. Montaje de los sistemas electrónicos

Una vez montado el terrario, se pasa a instalar el sistema de control y los actuadores.

En primer lugar, se coloca el sensor de temperatura y humedad en el interior del terrario en un lugar que no reciba el agua de la lluvia directamente y a una altura media. Así se asegura que las mediciones se hacen de manera correcta, ya que si el sensor estuviera mojado podría dar medidas erróneas. Además, se verifica de que sus cables pasan por lugares poco visibles para que el terrario se siga viendo natural.



Figura 4.27: Boquilla de sistema de lluvia

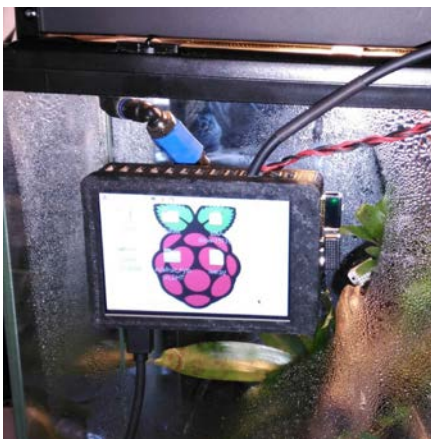


Figura 4.28: Raspberry con LCD

A continuación, se coloca la Raspberry en uno de los laterales del terrario. Para fijarlo se utiliza el soporte impreso de la figura 4.19 y cinta 3M de doble cara.

Se fija la bomba de lluvia a la parte interior del armario, encima del cual estará colocado el terrario, poniendo una junta de goma entre ambos. Ésto reducirá los ruidos de las vibraciones provocadas por el funcionamiento de la bomba.



Se coloca la placa de relés en la parte trasera del armario sujetándola con unos tornillos y se realizan las conexiones a los actuadores siguiendo el esquema de la figura 8.1 y a la placa controladora. Se verifica que se conectan de manera que se encuentren normalmente abiertos. Así, en caso de fallo del sistema, los actuadores permanecerán apagados. Además, se añade un interruptor para apagar el sistema por completo de forma inmediata en caso de haya algún fallo.

Por último, se introduce el sensor de nivel en el depósito de la bomba de lluvia. Para ello, se tendrá que agujerear un botella de 5 litros de manera que el sensor quede lo más horizontal posible. Después, habrá que asegurarse de que la unión quede completamente hermética utilizando silicona (figura 4.29) para que el agua no se filtre entre la uniones a fin de no perder agua del depósito. Además, como la botella ha de rellenarse periódicamente, se dota al cable del sensor de un conector JST (figura 4.30). De esta manera será muy sencillo conectar y desconectarlo del sistema.

Tras realizar todas las conexiones en la Raspberry Pi, se conecta el LCD obteniendo un resultado final como el de la figura 4.28



Figura 4.29: Colocación del sensor de nivel



Figura 4.30: Conector JST



## Capítulo 5

# Desarrollo software

En este apartado se desarrollará el software del proyecto. Se hablará punto por punto de todos los programas necesarios y de su funcionamiento. Por último, se indicará cómo realizar la instalación de todos los programas en una nueva placa controladora.

### 5.1. Software

Es desarrollo del software de este proyecto se podría decir que es el punto más crítico. En función de éste se va a conseguir que la interfaz sea más o menos visual y el poder controlar más o menos componentes con mayor o menor facilidad.

En primer lugar, se va a dividir en partes el desarrollo del software. En concreto, se tienen las siguientes divisiones: Sistema operativo de la Raspberry Pi, script de control del terrario, página web, macros para la comunicación entre el script y la página web y el streaming de la cámara.

#### 5.1.1. Sistema operativo de la Raspberry Pi

Para empezar, se tienen que establecer el sistema operativo que va a llevar instalado la placa de control, Raspberry Pi. Este paso es primordial, ya que esta decisión va a cambiar completamente el tipo de programación del proyecto.

Para tomar correctamente la decisión, se va a estudiar los diferentes sistemas operativos que se pueden instalar en la Raspberry Pi:

- Sistemas operativos multimedia (OSMC o LIBREELEC)

Son una serie de sistemas operativos pensados para utilizar la Raspberry Pi como un "Media Center". Es decir, su uso es conectarlo a un televisor para poder visualizar contenido multimedia como series, películas o televisión.

- Windows 10 IOT CORE

Se trata de una versión de Windows 10 para la placa Raspberry Pi, es decir, para una arquitectura de 32 bits, en concreto para ARMv7. Aunque en su nombre aparece Windows 10, es un sistema operativo basado en éste pero, en cuanto a

apariencia, no se parecen en mucho.

No está pensado para utilizarse como un ordenador portátil o de sobremesa cotidiano si no que, al igual que la Raspberry, está pensado con un fin "maker". Es decir, para poder crear proyectos en diferentes plataformas compatibles con Windows como, por ejemplo, Arduino.

- **Ubuntu Mate**

Ubuntu MATE es una distribución Linux basada en Ubuntu. Está mantenida por la comunidad y es un derivado de Ubuntu oficialmente reconocido por Canonical, que utiliza el entorno de escritorio MATE.

- **Raspbian**

Es el sistema operativo de la Raspberry Pi por excelencia. Actualmente, es el más desarrollado y el que más soporte en la comunidad tiene. Este sistema operativo está basado en Debian.

Nada más descargarlo e instalarlo contiene 35000 paquetes y software precompilado, lo que ofrece un gran abanico de posibilidades nada más arrancarlo. Además, al estar basado en Debian, cuenta con multitud de paquetes compatibles.

Debido a su facilidad de uso y a la gran multitud de utilidades que tiene, se elige este OS como base del proyecto.

## **Instalación de Raspbian**

Para proceder con la instalación del sistema operativo en la Raspberry, en primer lugar se tiene que descargar el software desde la página oficial de Raspberry <https://www.raspberrypi.org/>. El tamaño de la versión completa, no LITE, es de aproximadamente 1,5GB. Tendiendo en cuenta este tamaño, se deberá de elegir una tarjeta de memoria, de tamaño microSD, de una capacidad de al menos 8 GB. Para este proyecto, se elige una un poco mayor por si tuviera que almacenar datos del servidor de la página web (16GB).

Una vez descargado el archivo, se formatea la tarjeta SD en el formato correcto, FAT32, para que no haya ningún problema durante la instalación del OS.

A continuación, se tendrá que instalar la imagen del sistema operativo previamente descargada en la tarjeta de memoria. Para ello, se cuenta con una utilidad que facilita mucho el proceso llamada Etcher. Para descargarla, se puede hacer desde la página web oficial



Figura 5.1: Logo de Raspbian

<https://etcher.io/>.

Una vez descarga e instalada, bastará con seleccionar la imagen de Raspbian, la unidad que Windows ha asignado a la tarjeta SD y esperar a que el proceso termine.

Solamente queda introducir la tarjeta SD en la placa, conectarla a un monitor mediante su conexión HDMI y encenderla alimentándola por su puerto microUSB a 5V para empezar a utilizar el sistema operativo.

Debido a que Raspbian cuenta con un escritorio gráfico bastante intuitivo se puede empezar a configurar el sistema con suma facilidad. Algunas de las configuraciones iniciales que se tendrán que hacer serán:

- Ajustar la resolución de la pantalla para la correcta visualización de la información.
- Conectarnos a la red WiFi de casa (la Raspberry Pi 3 cuenta con conectividad WiFi sin necesidad de añadir un módulo USB) o por cable mediante el puerto de Ethernet.
- Instalar todas las dependencias necesarias para poder correr correctamente todo el software del proyecto. De muchas de éstas se hablarán en los siguientes puntos.

### 5.1.2. Script de control

El principal aspecto que se tendrá que controlar mediante el software son las entradas y salidas de la placa. Estas entradas y salidas denominadas GPIO (General Purpose Input/Output) son las que leerán los datos de los diferentes sensores y activarán los relés que accionarán los actuadores.

Raspbian cuenta con multitud de programas y librerías que permiten controlarlas. Algunos de ellos son:

- Desde la propia consola, considerando a los distintos pines como si se tratasen de carpetas del sistema. Por ejemplo, si se quiere encender un LED se tendría que:

1. Crear el pin 5, por ejemplo:

```
echo 5 > /sys/class/gpio/export
```

2. Indicarle que es un pin de salida:

```
echo out > /sys/class/gpio/gpio5/direction
```

3. Dar un valor de salida, apagado:

```
echo 0 > /sys/class/gpio/gpio5/value
```

o encendido:

```
echo 1 > /sys/class/gpio/gpio5/value
```

- Utilizando lenguaje C. Para ello, se tendría que utilizar la librería diseñada para esto, wiringPi. Es una librería muy fácil de usar que se asemeja a Arduino. Por ejemplo, si se quiere encender un LED, al igual que antes, se tendría que declarar el pin 5 como salida "pinMode (5, OUTPUT)" y, a continuación, activar la salida "digitalWrite (5, 1)".
- Utilizando lenguaje Python. Para utilizar este lenguaje, al igual que para C, se tiene que utilizar una librería específica "RPi.GPIO". Su uso es muy similar al de la librería de C.

Tras estudiar las diferentes posibilidades, se opta por diseñar el script de control en Python, pues se trata de unos de los lenguajes que más importancia han ganado en los últimos años. Además, es un lenguaje muy sencillo que permite implementar complejos sistemas con la utilización de multitud de librerías ya existentes.

Una vez elegido el tipo de lenguaje de programación, se establecen cuáles son las funciones que debería de desempeñar.

1. En primer lugar debería de ser capaz de controlar las entradas y salidas de los pines GPIO.
2. Debe de controlar en todo momento el sistema, es decir, es el encargado de activar uno y otro actuador en función de los datos obtenidos.
3. Tiene que comunicarse con la página web para enviar y recibir datos "Macros de comunicación".

Definido lo anterior, se explica la estructura del programa.

En primer lugar se asocian los pines de la Raspberry Pi (GPIO) a los diferentes actuadores y sensores. Para ello se utilizan variables a las que se les asignan el número de estos pines:

- Dth - Para el pin de señal del sensor de temperatura y humedad.
- Pnivel - Para el sensor de nivel del depósito de la bomba de agua de lluvia.
- Pluz - Conectado al relé que activa y desactiva la luz del terrario.
- Pcascada - Lo mismo pero para la bomba de la cascada.
- Pcalefactor - Al igual que antes, aplicado al cable calefactor.
- Pluvia - Para la bomba de agua del sistema de lluvia.

- Ppeltier - Para el sistema Peltier, tanto la célula como los ventiladores.

También, se inicializan una serie de pines que suministrarán tensión a los diferentes sensores. Debido a que la Raspberry sólo cuenta con 2 salidas de 5V, y una de ellas se utiliza para alimentar el LCD, será necesario alimentar algunos sensores mediante los pines GPIO:

- VDHT - Alimentará el sensor de humedad y temperatura.
- Vnivel - Alimentará el sensor de nivel de agua.

Después, se inicializan los valores por defecto del terrario, que los obteniendo leyéndolos de un fichero JSON denominado "config". En él está almacenado la configuración inicial del proyecto. El nombre de las variables es el siguiente:

- Tmin - Temperatura mínima.
- Tmax - Temperatura máxima.
- Hmin - Humedad mínima.
- Hmax - Humedad máxima.
- HoraLuzOn - Hora de encendido de la luz.
- HoraLuzOff - Hora de apagado de la luz.
- HoraLluvia - Es un vector con toda la información necesaria para las lluvias. La primera posición es para la hora de comienzo de las lluvias, la siguiente para la hora de finalización, la tercera es el número de lluvias y la cuarta la duración de cada lluvia.

Por último, se inicializan a 0 los valores leídos por los sensores y los contadores.

Tras definir las variables del proyecto, se pasa a la función setup, que se ejecuta únicamente la primera vez que se ejecute el script. Por tanto, se utiliza para definir los pines, es decir, si son de entrada o salida. Además, a los pines de salida, se les asignará un valor por defecto ya que no se desea que cuando se inicialice el proyecto los actuadores estén encendidos. Al final, queda de la siguiente manera:

- Actuadores - Todos asignados como salida y apagados
- Pines que suministran alimentación - Como salida y encendidos.
- Sensores - Asignados como entradas.

Tras hablar de la función setup, se pasa al bucle principal, loop o setup. Ésta es la función principal que se repetirá indefinidamente hasta que se detenga el script. Es, por tanto, la principal y la encargada de controlar todo el sistema.

Lo primero que se tendrá que hacer es obtener la hora del sistema. Para ello, para cada bucle, se leerá la hora marcada en la Raspberry Pi utilizando la librería `datetime` que tiene por defecto Python.

Tras leer la hora, se leen los valores del sensor de temperatura y de humedad.

Este proceso no se trata de una simple lectura digital o analógica del pin de señal del sensor de temperatura y humedad. Para poder leer estos datos de manera correcta, se tendrá que instalar previamente la librería del fabricante para Python denominada `"pi-sht1x"`. A continuación, la lectura de datos es muy sencilla, ya que la función encargada devuelve el valor de la humedad y temperatura, en este orden, en forma de un vector.

Se tiene que tener en cuenta que este sensor no permite el envío de información de manera constante y a la velocidad de un loop del programa, ya que retornará valores incorrecto. Por tanto, se tendrá que establecer que esta lectura se realice, como mucho, cada dos segundos.

Respecto al tipo de control, se cuenta con una variable `"AUTO"` que valdrá 0 cuando el tipo de control sea manual y 1 cuando sea automático. Por tanto, se tiene:

- Modo manual: El programa únicamente leerá los datos del sensor y obtendrá la hora local, pero en ningún momento actuará sobre los actuadores.
- Modo automático: El script controlará los actuadores haciendo que los valores sean lo correctos.
  - Encenderá y apagará la luz en función de las horas almacenadas en las variables `HoraLuzOn` y `HoraLuzOff`.
  - Encenderá y apagará el cable calefactor o el sistema Peltier en función de la temperatura siguiendo la siguiente lógica. Si la temperatura está dentro del rango  $T_{min}$ - $T_{max}$ , los dos actuadores permanecerán apagados. Si la temperatura es  $1^{\circ}\text{C}$  superior a  $T_{max}$  entonces se encenderá el sistema Peltier hasta que la temperatura sea de  $1^{\circ}\text{C}$  menos a  $T_{max}$ . Por el contrario, si la temperatura es  $1^{\circ}\text{C}$  inferior a  $T_{min}$  el cable calefactor se encenderá hasta que la temperatura sea  $1^{\circ}\text{C}$  superior a  $T_{min}$ .
  - Encenderá o apagará la cascada de agua en función de la humedad obtenida. Si la humedad es un 5 % menor que  $H_{min}$  la cascada se encenderá hasta que la humedad sea 5 % mayor que  $H_{max}$ . Además, si se establece  $H_{min}$  y  $H_{max}$  al 100 % la cascada estará siempre encendida.
  - Encenderá y apagará el sistema de lluvia el tiempo establecido. Para ello, el script coge la hora de inicio y final de la lluvia, haciendo que llueva el número de veces indicado en ese periodo. Por ejemplo, si se indica que de 10h a 12h haya 5 lluvias éstas serán a las 10:00, 10:30, 11:00, 11:30 y 12:00 y durarán los segundos establecidos.

Por último se definen los destructores, de manera que si se detiene el script de control todos los actuadores se apaguen.



### 5.1.3. Página web

Para la página web, desde donde se van a poder visualizar y controlar el sistema, se opta por utilizar un servidor en la propia Raspberry Pi. De esta manera se evita el tener que pagar por el alquiler de un servidor.

El lenguaje de la página web empleado será HTML utilizando scripts de Javascript. Uno de ellos será el script denominado Webiopi. Este script permitirá ejecutar las macros que conseguirán comunicar la página web con el script de control de Python. Además, contiene una serie de funciones que permiten activar y desactivar los pines de la Raspberry. Es decir, marcarlos como entrada/salida o indicar que la salida se active o apague.

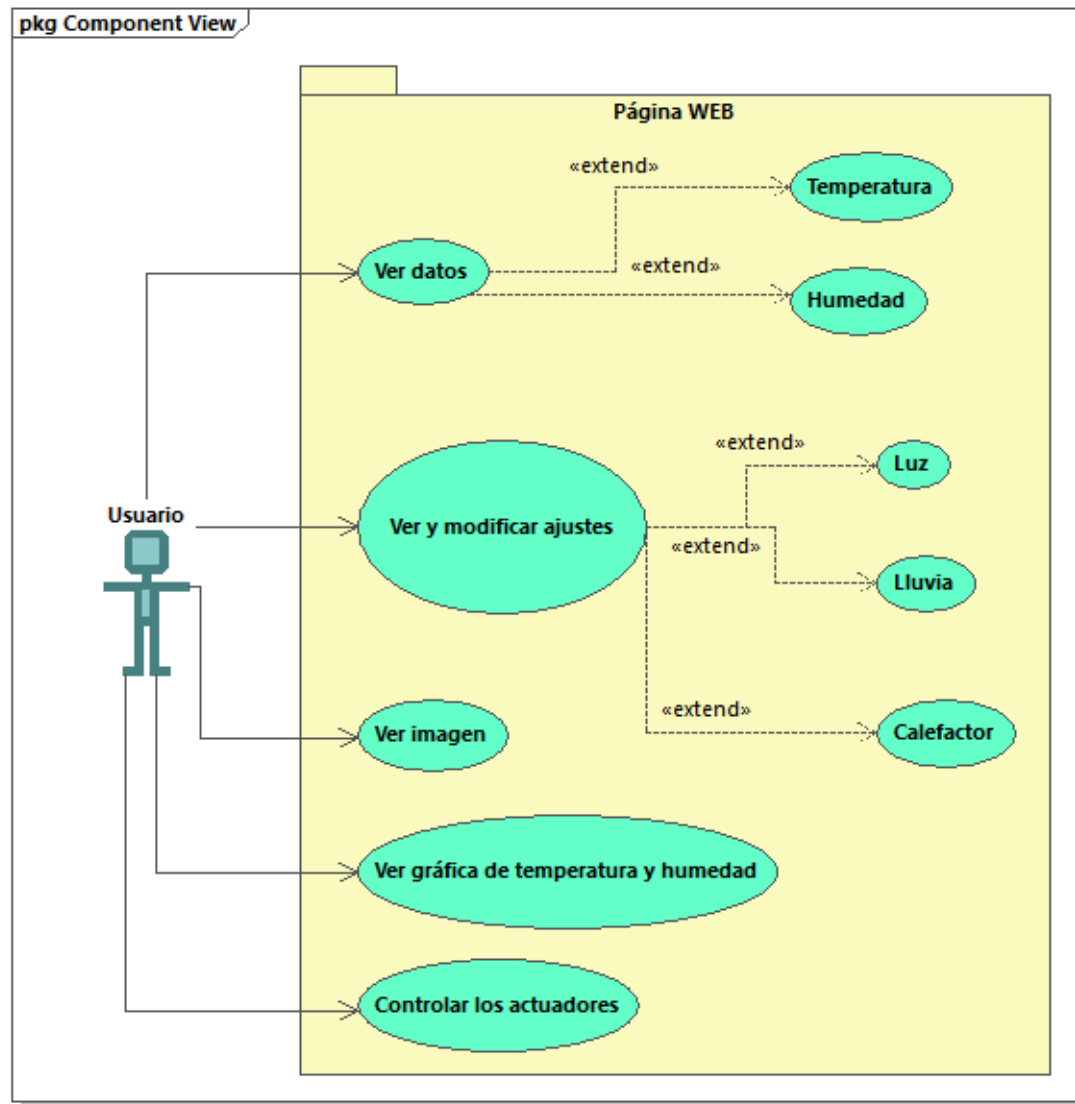
Para hacernos una idea de los casos de uso que va a tener esta web se crea el diagrama de casos de uso de la figura 5.2.

Para comenzar con la página web, en primer lugar se tiene que establecer un diseño o plantilla inicial de la página web. Para ello no se utiliza ninguna plantilla ya generada si no que se crea una desde cero. Esta plantilla (figura 5.3) está estructurada en:

- En la parte superior irá el menú que permitirá navegar por las distintas páginas.
- Más abajo, se tiene una gran tabla dividida en 3, donde en el centro se colocará la imagen en directo del terrario o la gráfica de temperatura y humedad.
- Continuando hacia abajo, se tiene dos tablas, en una se mostrará la temperatura y humedad actual, y en la siguiente el estado del terrario. Es decir, si está en control automático o manual.
- Las siguientes tablas se dividen en tres. La primera reservada a la temperatura, la segunda a la humedad y la última a la luz.

Una vez establecida la plantilla, se tiene que definir las páginas que va a tener y la funcionalidad de cada una:

- Inicio: Esta pantalla va a ser la inicial (index.html), que será la que se mostrará cuando se acceda al dominio. En primer lugar, mostrará la imagen en directo del terrario, la temperatura, humedad y el estado (automático y manual).
- Control: Desde esta página se puede controlar todos los actuadores del terrario, así como cambiar entre el modo automático y manual. Además, también se mostrará en directo el terrario e indicará el estado de cada actuador (encendido o apagado).
- Ajustes: Ésta es la página de ajustes, desde aquí se cambiarán todos los ajustes del modo automático del terrario. Se podrá modificar la temperatura máxima y mínima, la humedad máxima y mínima, la hora de encendido y apagado de la lluvia artificial (duración de las mismas y cantidad) y la hora de encendido y apagado de la luz.



Generated by UModel

www.altova.com

Figura 5.2: Diagrama de casos de uso

- Registro: Aquí se podrá visualizar la gráfica de temperatura y humedad. Además, aparecerá las temperaturas humedades máximas y mínimas.
- Acerca: Aquí únicamente se mostrará información sobre el proyecto, su desarrollo y autor.

Una vez establecido lo anterior, se puede empezar a diseñar el código de la página. Dado que se quiere tener una interfaz intuitiva y compatible con todo tipo de dispositivos el objetivo se centra en hacer que esta página sea lo más sencilla de utilizar posible.



Figura 5.3: Estructura página web

### Diseño

Para que la página sea vistosa a simple vista se tiene que trabajar en los iconos, colores, botones y demás componentes que se van a mostrar. Para ello se crea un archivo CSS donde se guardarán todos los estilos. De esta manera no se tendrán que definir en cada página.

- Iconos: Para los iconos se utiliza un conjunto de iconos de uso gratuito descargados de <http://www.flaticon.es/>. Se pueden dividir en cuatro grupos: De temperatura, de lluvia, de luz, y de modo auto/manual.

De temperatura (figura 5.4), de izquierda a derecha serían: 1. Temperatura alta, significa que entraría en función el sistema de frío. 2. Temperatura correcta, no funcionaría ni el sistema de calor ni el de frío. 3. Temperatura fría, el sistema de calor se activaría.

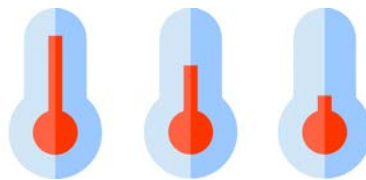


Figura 5.4: Iconos de temperatura

De lluvia (figura 5.5), de izquierda a derecha: 1. La lluvia está preparada, es decir hay agua en el depósito pero no está lloviendo. 2. Está lloviendo actualmente. 3. La lluvia está desactivada porque no hay agua en el depósito y hay que llenarlo.

De luz (figura 5.6), de izquierda a derecha: 1. Luz encendida. 2. Luz apagada.



Figura 5.5: Iconos de lluvia

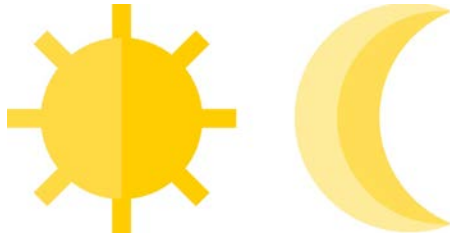


Figura 5.6: Iconos de luz



Figura 5.7: Iconos de modo

De modo (figura 5.7), de izquierda a derecha: 1. Modo automático. 2. Modo manual.

- Botones: Para los botones (figura 5.8) se utilizan unas esquinas redondeadas, al igual que para casi cualquier elemento. Además, cuentan con dos tipos de colores; rojo cuando el actuador está desactivado y verde cuando está activado. Cuando se encuentra en blanco y se pasa el ratón por encima se pondrá del color que corresponda, verde o rojo. Por último, cuando se encuentre el sistema en modo automático, los iconos cogerán cierta transparencia y, si se sitúa el ratón encima, saldrá un icono de prohibido que recuerda que, en modo automático, no se podrá cambiar el estado de los actuadores.



Figura 5.9: Favicon

- Favicon: Para el favicon (figura 5.9), o icono que aparece en la pestaña del navegador se opta por poner la imagen de una rana tropical, en concreto un *Dendrobates Azureus*. Éste icono es importante ya que si desde un dispositivo móvil se hace un acceso directo a la url, como si fuera otra aplicación, el icono de ésta será el favicon.

- Imagen en streaming: La imagen de la cámara instalada en el terrario (figura 5.10) aparece en gran parte de la pantalla. Para que se adapte al diseño de la web se ha



Figura 5.8: Botones



Figura 5.10: Imagen de la cámara

redondeado las esquinas. Además, si se hace click sobre ella aparecerá un reborde que indica que si se pincha en ella se visualizará la imagen en resolución original.

- Menú y pie de página: Un simple menú y pie de página, con los bordes redondeados y de color negro. En el menú, cuando se pone el ratón encima, pasa de ser negro con letras blancas a ser gris con letras negras (figura 5.11). Además, si la pantalla es demasiado pequeña y el menú no entra se convierte en un menú desplegable (figura 5.12).

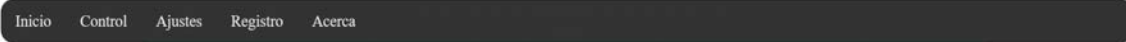


Figura 5.11: Menú



Figura 5.12: Menú desplegable

- Indicadores de temperatura y humedad: Se utilizan dos botones de estilos diferentes, verde para la temperatura y azul para la humedad, con las esquinas redondeadas (figura 5.13).

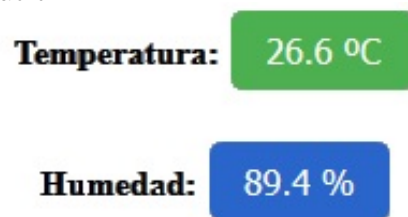


Figura 5.13: indicadores de temperatura y humedad

- Sectores: Para agrupar las opciones por tipo (humedad, temperatura y luz) se opta por colorear de un color más oscuro un sector que incluya estas opciones. De esta manera, de un rápido vistazo se puede distinguir cada sector. Como siempre, se rodean las esquinas (figura 5.14).



Figura 5.14: Sector

- Fondo: Para el fondo se elige una textura ligeramente granulada y de colores lisos (figura 5.15).

- Formato "responsive": Por último, gracias a los estilos css se añade la funcionalidad de que la página web sea "responsive". Es decir, que se adapte al formato de cada dispositivo. Por tanto, se podrá visualizar perfectamente la página tanto con una monitor de dispositivo de pequeña resolución como con uno de gran resolución (1080p o superior).

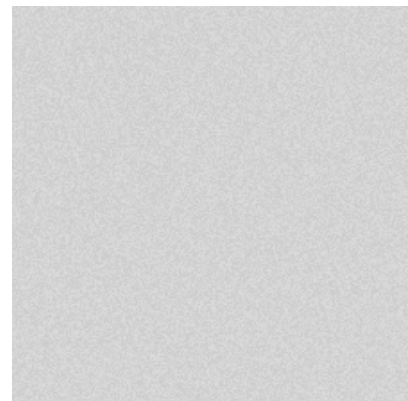


Figura 5.15: Fondo

#### 5.1.4. Macros de comunicación

Para comunicar el servidor HTML y el programa de control escrito en Python se necesita una serie de funciones o macros que serán las responsables de enviar y recibir la información entre ambas plataformas. Todo esto es posible gracias a Webiopi, que facilita enormemente el trabajo.

Estas macros comunicarán la siguiente información:

- Temperatura y humedad, únicamente en el sentido Python-HTML, ya que se necesita saber en todo momento ambas lecturas para mostrarlas.
- Hora de encendido y apagado de la luz, en ambos sentidos Python-HTML y HTML-Python. Se quiere saber desde la pantalla de ajustes los parámetros guardados en el script de Python, pero también se quiere poder modificarlos.
- Horas de encendido de la lluvia, se necesita leer y modificar estos parámetros desde la página web.
- Temperatura máxima y mínima, al igual que los dos anteriores se quiere poder ver y cambiar los valores establecidos.
- Modo, para poder leer y modificar el modo automático o manual del sistema.
- Pinout, únicamente envía la información al fichero HTML para saber qué pin activar o desactivar cuando se esté controlando el terrario de manera manual.

El funcionamiento es el siguiente, en el script de Python crea una serie de funciones que comienzan por "get" si sirven para obtener valores de HTML a Python o por set si sirven para pasar información del script de control a la página web.

Desde la página HTML se llama a estos macros, bien pasándoles la información (get) o bien recibiendo (set). Para cada una de ellas se crea una función diferente que se ejecutará cada 500ms. Se ha establecido este periodo ya que así no se saturará el servidor y se garantizará una respuesta bastante rápida.

#### 5.1.5. Gráfica de temperatura y humedad

En la pantalla de registro de la página web se coloca una gráfica donde se puede observar la temperatura y humedad de las últimas horas del terrario. Para ello, se opta por utilizar PlotLy, una librería gratuita que permite almacenar los datos de los valores obtenidos por el sensor y graficarlos (figura 5.16). Utilizando esta librería se quita el tener que guardar todos los datos en una base de datos o en un archivo JSON. Así se podrá acceder siempre a éstos a través de la página web de PlotLy o directamente mirando la gráfica en la página web del sistema.

PlotLy funciona a través de lo que ellos denominan "tokens", que son unos códigos asociados a una base de datos donde se almacenan los datos. Para cada dato se necesita un "token" diferente, por lo que si se quiere guardar y graficar la temperatura y la humedad se necesitarán dos. Se pueden adquirir fácilmente y de manera gratuita a través de su página web. Aunque hay disponible una licencia de pago,

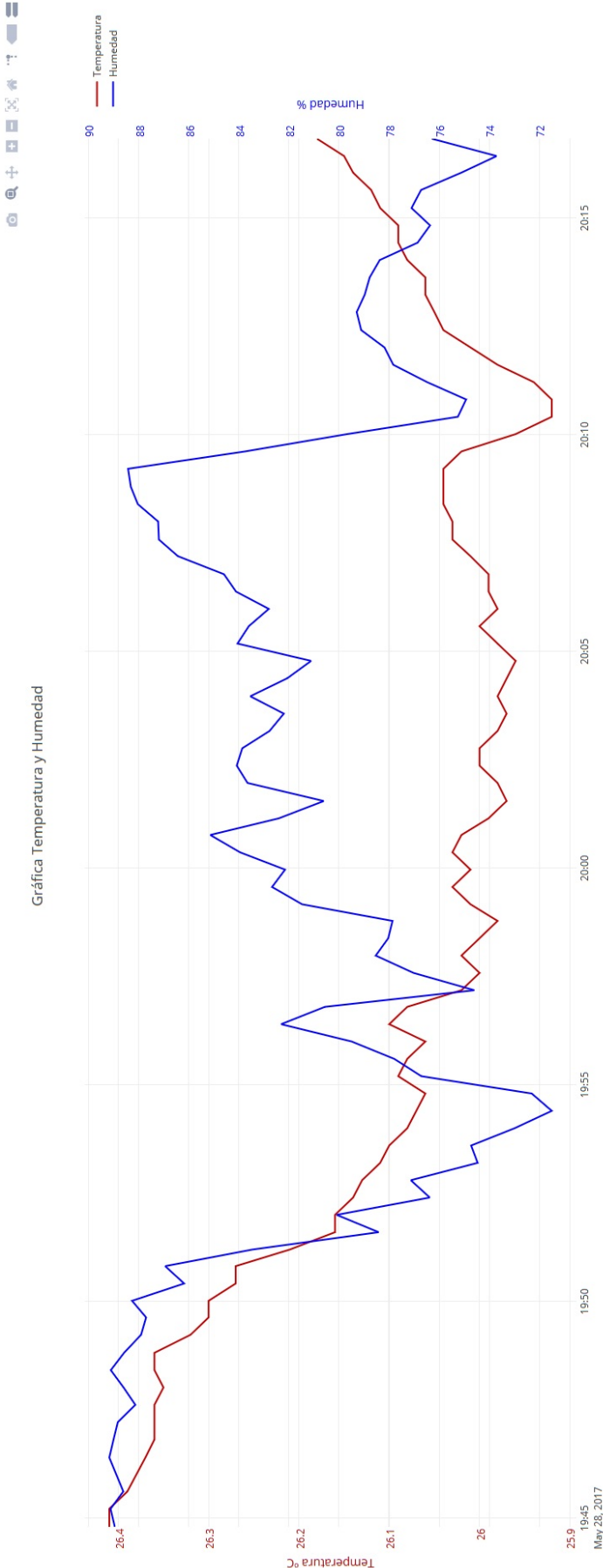


Figura 5.16: Gráfica de temperatura y humedad



para este objetivo es suficiente con la licencia gratuita.

Comenzando con la programación de la gráfica, en primer lugar se tiene que definir la gráfica en el script de Python. Aquí se configuran todos sus ajustes y se introducen los datos de la cuenta de PlotLy, creada anteriormente, junto con los "tokens" que se van a utilizar. Para configurar la gráfica:

- Se indica que se quiere graficar dos trazas en la misma figura y denominados a cada una de una manera diferente.
- Se asigna a cada una un "token".
- Se especifica el color de cada traza, su leyenda y el nombre de cada eje Y y del eje X.
- Se establece que en el eje X se muestre la fecha y hora de cada lectura.
- Se abre la comunicación con el servidor de PlotLy, lo que permitirá enviar los datos obtenidos del sensor.

Una vez configurada la gráfica solamente quedará introducir en el loop del programa una nueva función que envíe los valores. Como el loop del programa es demasiado rápido y no se necesita tener lecturas cada pocos milisegundos, se crea un contador para que se envíen cada aproximadamente 15 segundos.

Por último, ya en el código HTML, se tiene que incluir una única línea donde se define la anchura de la gráfica y la URL de la gráfica de Plotly.

De esta manera se tendrá una gráfica muy visual con dos escalas en el eje Y, a la izquierda se verá la temperatura en °C (de color rojo) y a la derecha la humedad en % (de color azul).

#### 5.1.6. Streaming del vídeo

El streaming del vídeo de la cámara instalada en el sistema está formado por fotografías que se toman cada cierto tiempo, es decir, se podría decir que se trata de un "time-lapse".<sup>en</sup> vez de un vídeo como tal.

Para la programación del vídeo se van a utilizar dos programas diferentes. En primer lugar se utilizará Raspistill, una opción que viene de serie en Raspbian y que permite realizar fotografías con la cámara conectada a la Raspberry Pi. Además, se podrá configurar para que haga fotografías cada X segundos y que las guarde con el mismo nombre o que guarde cada una con un nombre diferente, por ejemplo fotografía1, fotografía2, fotografía3... Para este caso, interesa mantener el nombre del archivo ya que el servidor refrescará únicamente ese archivo. El comando para ejecutar Raspistill es el siguiente:

```
raspistill --nopreview --rotation 270 -t 100 -w 960 -h 1260
-o /home/pi/Desktop/Pruebas2/TerrarioBueno/html/pic1.jpg -n
-q 85
```

En él se definen los grados de rotación de la cámara, que son 270° pues la cámara está girada en este caso. Además, se especifica la resolución de la fotografía, dónde se querrá que se guarde y, por último, la calidad de la fotografía en porcentaje. Este script se ejecutará cada segundo, estableciendo, por tanto, la velocidad de refresco del streaming a un segundo.

El siguiente programa a utilizar es `mjpg_streamer`. La finalidad de éste es crear un pequeño servidor en el puerto que se establezca donde emitirá en directo la imagen que se le indique. El script es el siguiente:

```
mjpg\_streamer -i "input\_file.so -f  
/home/pi/Desktop/Pruebas2/TerrarioBueno/html -n pic1.jpg"  
-o "output\_http.so -w /usr/local/www -p 2131"
```

Se puede ver que lo que se está haciendo es introducir un input (la fotografía) y convertirlo en un output (servidor web) en un puerto determinado (2131).

Después, lo único que se tendrá que hacer es indicar a la página web que muestre la fotografía del servidor creado anteriormente.

#### 5.1.7. Pantalla del LCD

En la pantalla LCD se van a querer mostrar en directo los valores más importantes del terrario, que serían: temperatura y humedad actual, si el calefactor o la célula Peltier están activos, si está lloviendo y si el depósito de agua tiene agua suficiente.

Para lograr ésto, se van a utilizar el servidor que la Raspberry, ya que todas las funciones para obtener estos datos se pueden reutilizar de las páginas principales. Para ello, se crea una nueva página denominada `raspberrypi.html`.

Dado que esta página la va a mostrar una pantalla de 3.5z 480x320 pixels, se rediseña la página para que tenga estas características. De esta forma, las opciones siempre saldrán perfectamente colocadas.

Para esta pantalla, se van a utilizar unos gráficos de manera, de modo que la temperatura y humedad aparezca de forma que parezca que se está delante de un clásico termómetro/higrómetro analógico. Para ello, se utiliza un script de Javascript de Google Charts.

El resultado final es el siguiente (figura 5.17).

Los valores mínimos y máximos de los gráficos se han configurado de manera que guarden relación con los valores que se van a mantener, así como los colores. De esta manera, la zona verde sería la óptima para que los animales estén en su hábitat. Si, en la temperatura, se ve que la aguja se encuentra en rojo, en el terrario hará demasiado calor y lo contrario para el azul. En cuanto a la humedad, rojo significará que la humedad es muy baja y crítica, mientras que en naranja significará que debería de ser más alta, pero no corren grave peligro.

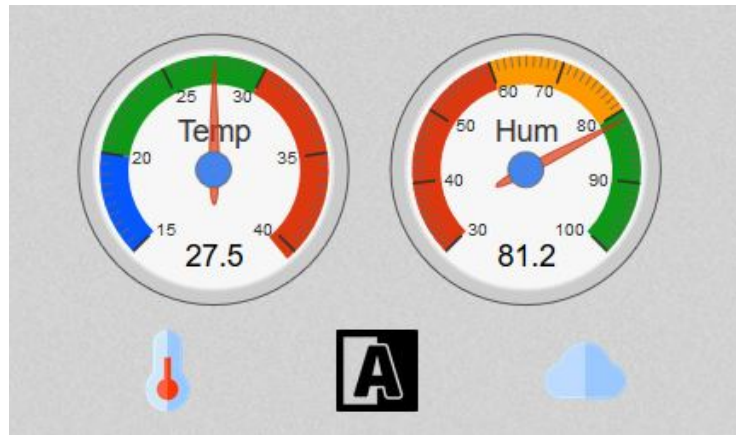


Figura 5.17: Pantalla LCD

Continuando hacia abajo y de izquierda a derecha se verá el estado del calefactor y de la Peltier, el estado del modo automático y la lluvia.

## 5.2. Diagramas de actividad

Para favorecer la comprensión del funcionamiento del sistema, se desarrollan diferentes diagramas de actividad. En la figura 5.18 se aprecia el funcionamiento del modo automático. En la figura 5.19 el modo manual y en la figura 5.20 se tiene el diagrama de actividad de la página web.

Además, para entender la unión de todos los sistemas en las diferentes plataformas, se desarrolla el diagrama general del sistema de la figura 5.21.

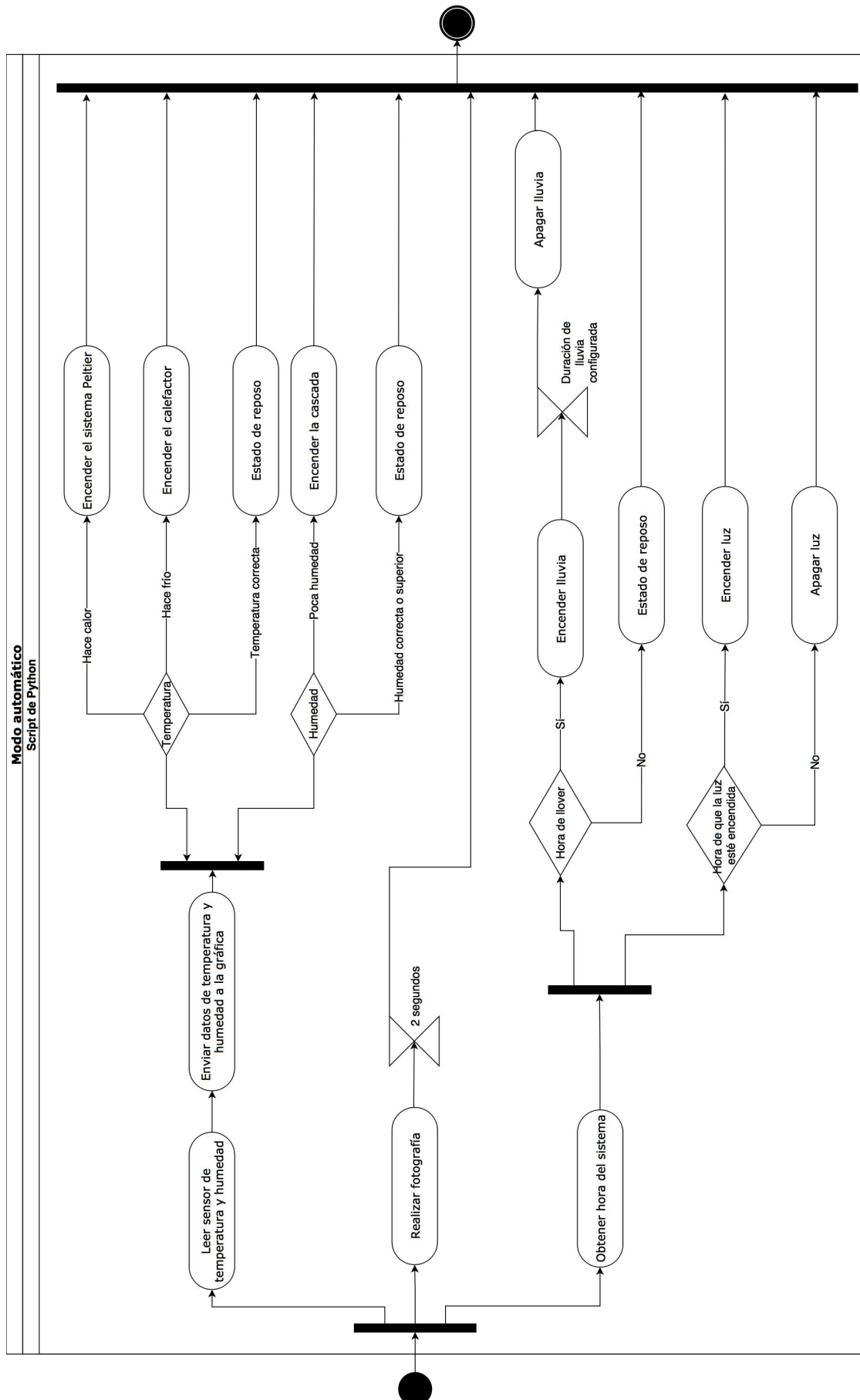


Figura 5.18: Diagrama de actividad modo automático

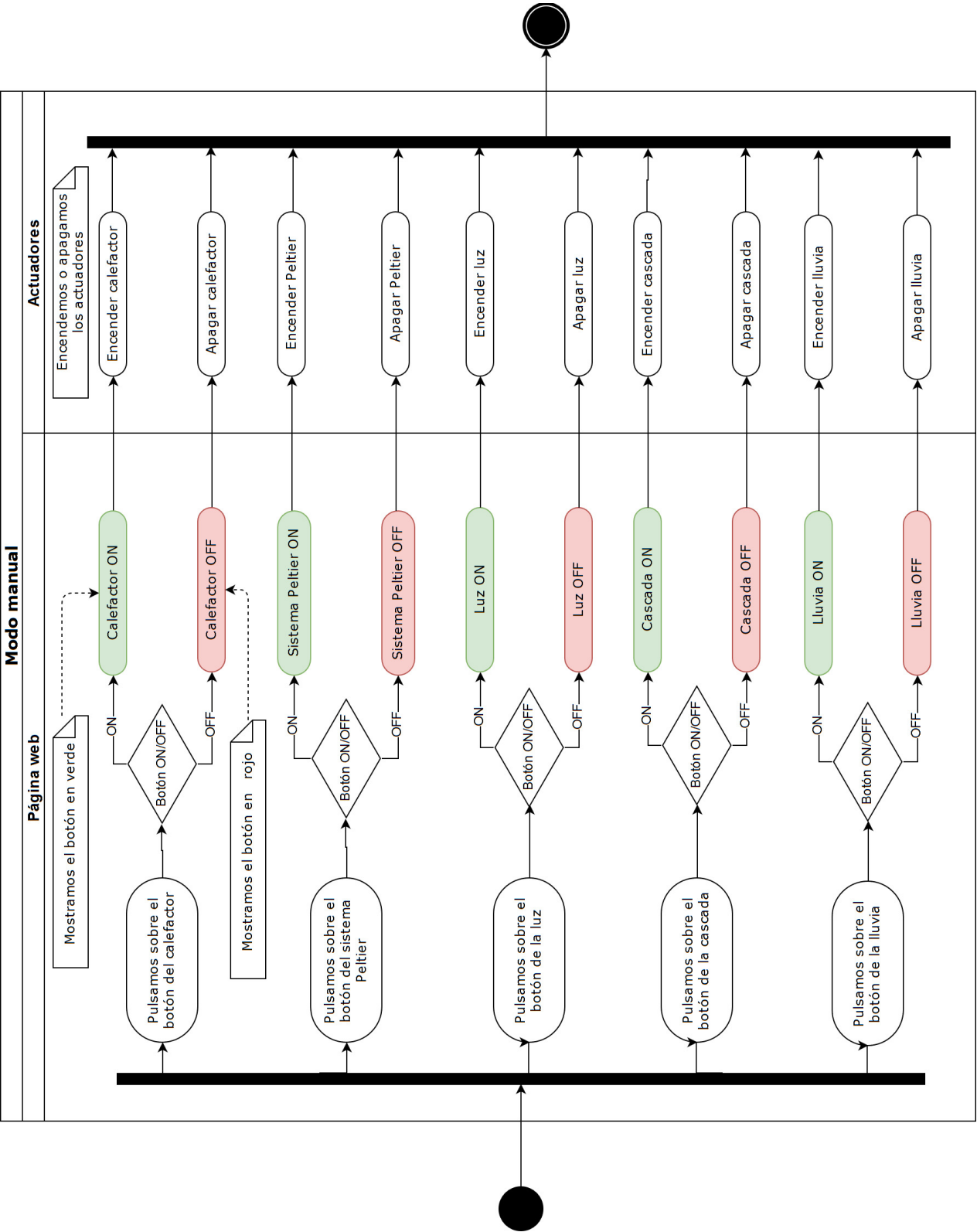


Figura 5.19: Diagrama de actividad modo manual

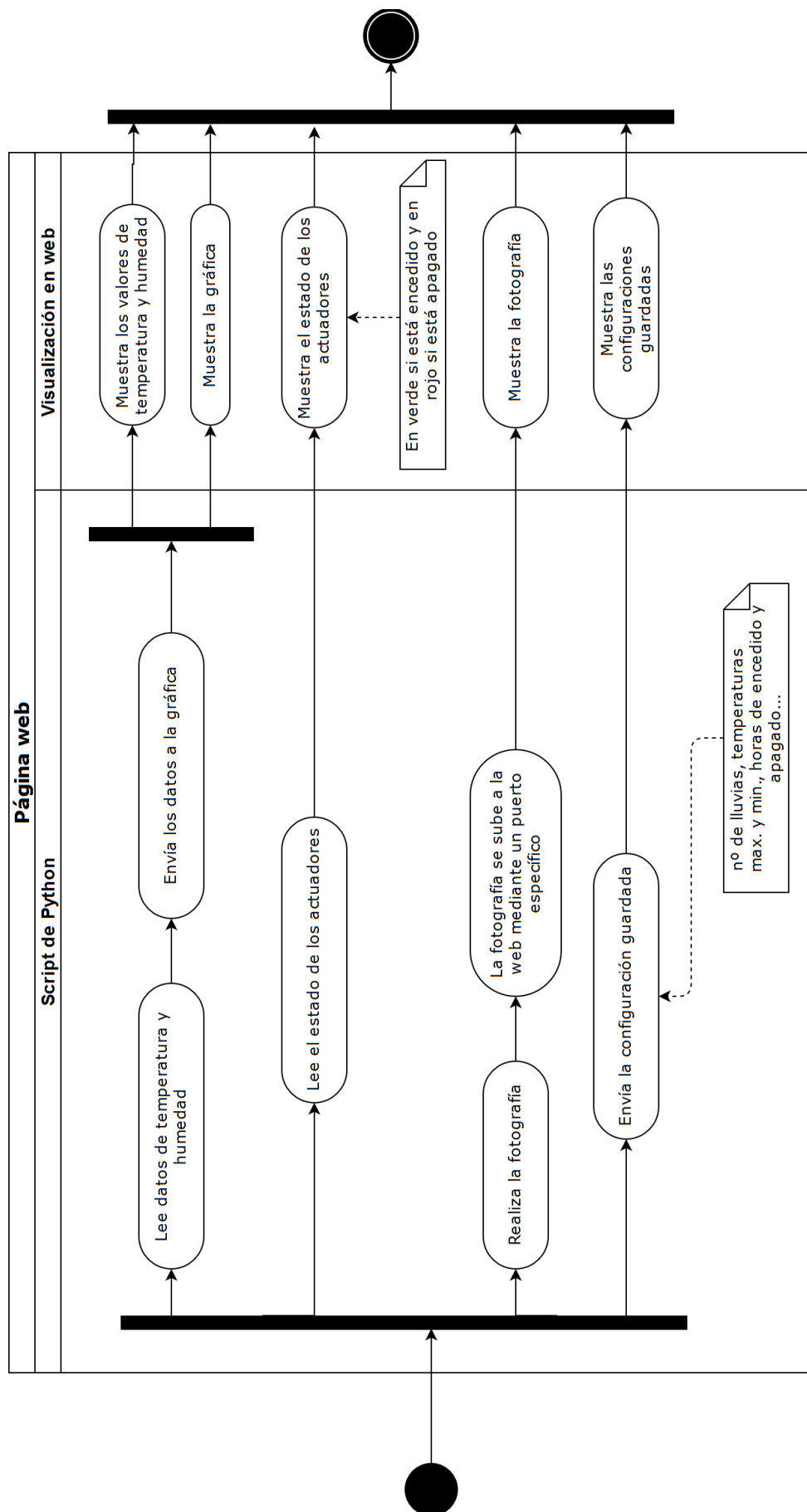


Figura 5.20: Diagrama de actividad web

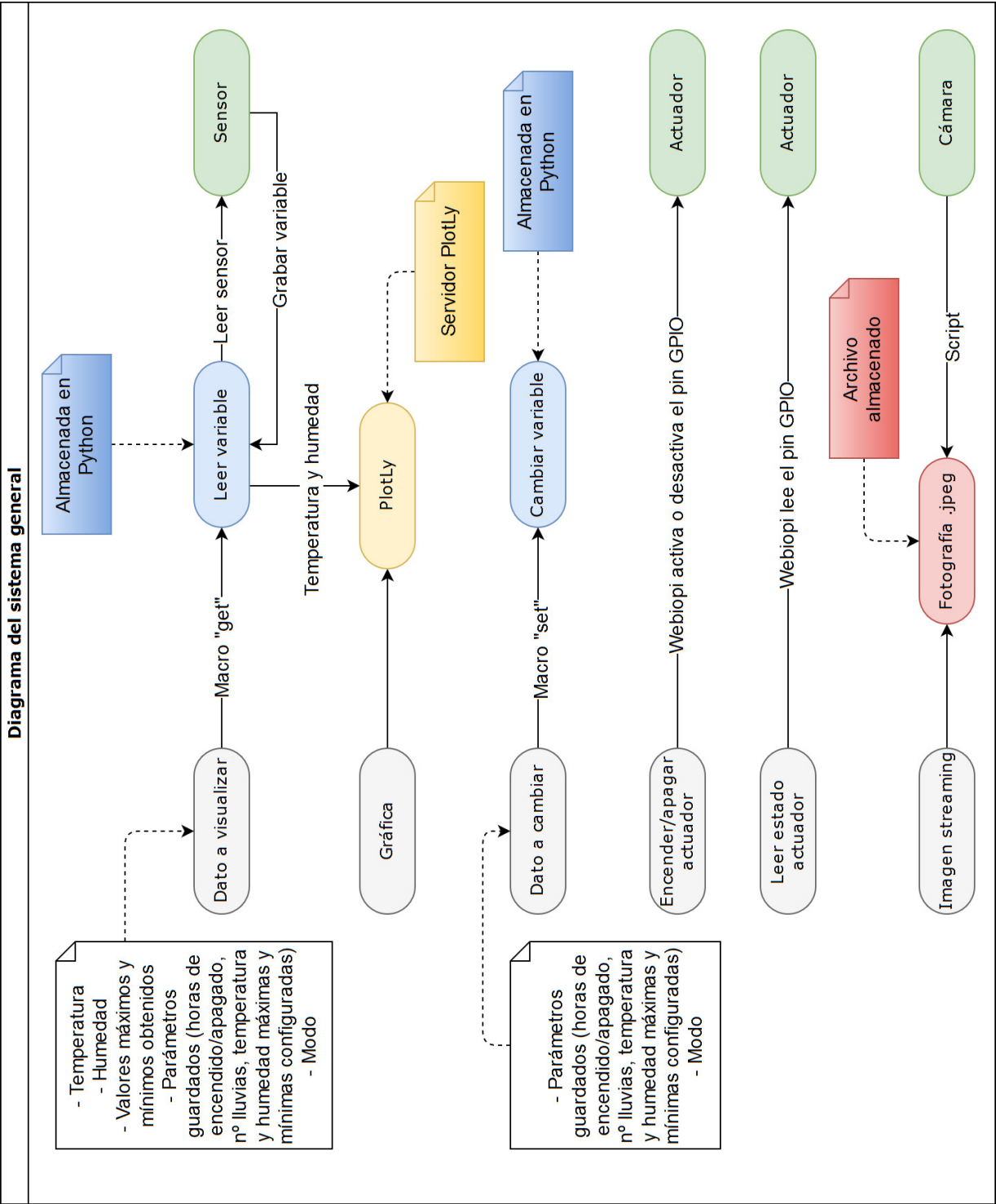


Figura 5.21: Diagrama del sistema general

### 5.3. Instalación

En esta sección se indica cómo realizar la instalación de los programas necesarios para hacer correr el sistema.

En primer lugar se necesita instalar el sistema operativo Raspbian en la Raspberry Pi. Para ello, bastará con descargar el sistema desde la página oficial y copiarlo en una tarjeta microSD.

Una vez instalado, se inicia con normalidad la Raspberry y se pone a instalar las aplicaciones necesarias:

- En primer lugar se instala Webiopi, para ello:

Se descarga todo lo necesario desde <https://github.com/thortex/rpi3-webiopi>. Se utiliza este repositorio y no el original ya que si no se podría utilizar en una Raspberry Pi 3 con normalidad. Para descargarlo e instalarlo se ejecuta:

```
git clone https://github.com/thortex/rpi3-webiopi
tar xvzf WebIOPi-x.y.z.tar.gz
cd WebIOPi-x.y.z
sudo ./setup.sh
```

Una vez instalado, se continúa con la instalación del programa que permitirá realizar el streamer de la cámara. Para ello se ejecuta:

```
wget http://lilnetwork.com/download/raspberrypi/
      mjpg-streamer.tar.gz
tar xvzf mjpg-streamer.tar.gz
sudo apt-get install libjpeg8-dev
cd mjpg-streamer/mjpg-streamer
make
sudo make install
```

Lo siguiente será instalar las librerías para Python de Plotly, que permitirá graficar la temperatura y humedad:

```
sudo pip3 install plotly
```

A continuación, las librerías de Python para el sensor de temperatura:

```
sudo pip3 install pi-sht1x
```

Por último, se crea el script que se tendrá que ejecutar para ejecutar todos el sistema:



```

\#!/bin/bash
LD\LIBRARY\PATH=/usr/local/lib mjpg\_streamer -i "input\
  _file.so -f /home/pi/Desktop/Terrario/html\_n\_pic1.jpg" -
  o "output\_http.so -w /usr/local/www\_p\_2131"\
sudo webiopi -d -c /home/pi/Desktop/Terrario/config\&
while [ 9 -lt 10 ]
do
    raspistill --nopreview --rotation 270 -t 100 -w 960
    -h 1260 -o /home/pi/Desktop/Terrario/html/pic1.
    jpg -n -q 85\
sleep 1
done

```

En caso de querer incorporar el LCD habrá que instalar su librería que se puede descargar desde <http://www.waveshare.com/w/upload/7/74/LCD-show-170309.tar.gz>. Una vez descargado habrá que descomprimirla y ejecutarla:

```

tar xvf LCD-show-*.tar.gz
cd LCD-show/
chmod +x LCD35-show
./LCD35-show

```



## Capítulo 6

# Resultados y discusión

En este capítulo se presentarán las pruebas realizadas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema, después se mostrarán los resultados obtenidos tras finalizar el proyecto y, por último, se discutirá sobre ellos.

### 6.1. Pruebas

- Sistema de calefacción

Debido a que se puede optar por diferentes métodos para calentar el terrario, se hicieron diversas pruebas para establecer el mejor actuador que mantuviera la urna a la temperatura correcta.

En primer lugar, se probó a utilizar una manta térmica (figura 6.1). Se trata de una superficie con un circuito que recorre toda su superficie y que tiene cierta resistencia. Al alimentar este circuito, la resistencia se calienta siguiendo la ley de Joule y emana calor. Debido a que esta manta no está diseñada para trabajar en ambientes muy húmedos, se coloca en la parte inferior del terrario, pegada por fuera al cristal.

Una vez colocada, se realizan pruebas para comprobar cuánto aumenta la temperatura cuando se enciende.



Figura 6.1: Manta térmica

- Prueba del sistema inicial

Tras montar los sensores y actuadores básicos se realizó una prueba para ver qué tal reaccionaba el terrario sobre todo en lo relativo a la temperatura. Para ésto, se conectó únicamente el sensor de temperatura y humedad, el calefactor

y la luz.

La prueba se hizo en el mes de agosto en un emplazamiento bastante caluroso.

Tras estar funcionando durante 5 días completos, se hizo un estudio de las temperaturas que se alcanzaban. Se observó que la temperatura mínima nunca se alcanzaba debido a la activación del calefactor por las noches. No obstante, en las horas en las que hacía más calor en la habitación, las temperaturas sobrepasaban peligrosamente los 30-32°C.

Tras detectarlo, se realizó un cambio en el código que apagaba las luces si hacía demasiado calor, cuando se encontraba próximo a la temperatura máxima. De esta manera se pretendía no sobrecalentarlo.

Tras dejar unos pocos días más el terrario funcionando se comprobó que la luz no producía demasiado calor, por lo que la temperatura se seguía sobrepasando.

Fue entonces cuando se optó por incluir en el terrario un propio sistema de “aire acondicionado”. Éste consistía en una célula Peltier con dos disipadores y dos ventiladores capaz de introducir el aire frío en el terrario y extraer el caliente de la célula (figura 4.20).

Tras su uso, se verificó que, en pocos minutos, la temperatura del interior disminuía 2-3°C, más que suficiente para mantener el terrario en condiciones óptimas. En concreto, se realiza una prueba en la que se consigue disminuir la temperatura de 29°C a 27°C en 12 minutos.

Cabe mencionar que este sistema hace disminuir la humedad del interior, por lo que se intenta disminuir su uso o acompañarlo de lluvia artificial y del funcionamiento de la cascada.

#### ■ Charca

Como primer método para aumentar la humedad del terrario se decidió diseñarlo de tal manera que en una de sus esquinas hubiera una pequeña charca. De esta manera, la humedad aumentaría ligeramente pudiendo incluso prescindir de otros sistemas que aumentaran la humedad.

Tras terminar el terrario y hacer pruebas únicamente con la charca como sistema de humedad se determinó que no era suficiente como para alcanzar los valores deseados. De hecho, la humedad no subía por encima del 50 %.

A continuación, se comprobó que al encender el cable calefactor la temperatura del agua se elevaba elevando también la humedad del sistema hasta en un 60 %.

Por tanto, aunque no se podría basar solamente en este tipo de incrementador de la humedad se decide mantenerlo ya que:

- En primer lugar es una buena decoración que da al terrario un toque muy natural.
- Aumenta ligeramente la humedad general.
- Los animales pueden bañarse por si necesitan aumentar humedecerse. Además se podrá añadir pequeños peces o similar si hiciera falta.
- Para el caso de los Dendrobátidos puede servir para que los pequeños animales lleven a sus renacuajos hasta ella. De esta manera no sería necesario sacar los huevos del terrario en caso de que se reproduzcan.

#### ■ Sensor de temperatura

Primeramente al terrario se le dotó de un sensor de temperatura y humedad DHT22. Un sensor bastante asequible y que ofrecía bastantes buenos resultados. Tras las primeras pruebas fuera del terrario, se observa que las mediciones son bastante exactas. Para ello, se crea un pequeño script en Python que fuese leyendo cada 5 segundos la temperatura. Además, daría los valores máximos y mínimos. De esta forma se pueden controlar valores erróneos.

Tras tener el sistema encendido durante varios días, se observa que, de manera aleatoria, el sensor leía unos valores fuera de lo normal. Para solucionarlo, simplemente se modifica el código para filtrar los valores obtenidos. DE esta forma, valores fuera de lo normal (negativos o muy alejados del valor leído anteriormente se descartaban).

Con ésto, tras realizar nuevas pruebas, se observa que el resultado de los valores es el correcto.

A continuación, se introduce el sensor en el terrario para someterlo a las condiciones de calor y humedad y se varía la lectura de la temperatura y humedad a cada 1ms. A los pocos minutos, se obtienen fallos en el programa porque no se reciben datos numéricos del sensor, si no valores erróneos. Tras estudiar el problema, se detecta que el sensor necesita de cierto tiempo entre lectura y lectura. Por tanto, se modifica nuevamente el programa para leer los datos cada pocos segundos.

Se continúan las pruebas durante varios días más y todo parece funcionar a la perfección. Se añade, por tanto, el resto de actuadores. Ésto provocó que el sistema de lluvia aumentase la humedad hasta el 99% y mantuviese el sensor humedecido durante horas.

Aunque al principio todo funcionó correctamente, a los pocos días se obtuvieron errores en la lectura hasta que al final el sensor dejó de funcionar. Tras retirarlo

y revisarlo, se aprecia que éste se encontraba oxidado debido a la humedad y al agua de la lluvia (figura 6.2).



Figura 6.2: DHT22 oxidado

Tras ver esto, se utiliza un nuevo sensor DHT22 al que se le fabrica una funda termoretráctil para evitar el agua directa. Además, se le cambia su colocación para evitar que el sistema de lluvia lo moje en exceso (figura 6.3).



Figura 6.3: DHT22 con funda

A continuación, las pruebas fueron nuevamente satisfactorias y, aunque su vida útil fue mayor que el anterior sensor, se volvió a estropear. Por tanto, se determina que este sensor es el idóneo para algunos terrarios secos para mantener a reptiles, por ejemplo, pero no es el idóneo para animales que requieran de una humedad muy elevada.

Es, por tanto, cuando se decide cambiar de sensor y utilizar el sensor SHT10, un sensor con un precio más elevado y una cubierta de acero inoxidable para evitar los problemas del DHT22.

Tras cambiar el sensor y las librerías oportunas, se obtiene una medición de valores muy precisa y sin tener que preocuparse por la humedad del terrario.

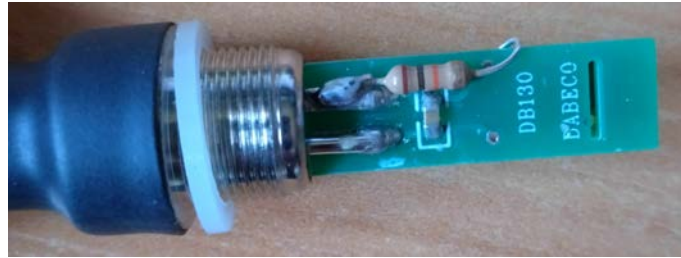


Figura 6.4: Realimentación SHT10

Para asegurarse de que el funcionamiento es el correcto, se deja al sistema funcionar con normalidad y se aprecia que, cada 24 horas aproximadamente, se obtiene un error en la lectura que causa el cierre del programa. Se solucionará colocando una realimentación de 100KOhmios entre el pin de alimentación y el de datos del sensor (figura 6.4).

#### ■ Desarrollo del hábitat

Antes de meter a los animales se procede con la decoración del terrario y se instalan las plantas necesarias para dar un aspecto de hábitat tropical. Además, serán necesarias para que los dendrobates estén cómodos y puedan desarrollar su vida cómodamente. Para saber que todos los parámetros del terrario son correctos, se revisa el crecimiento y estado de las plantas durante varias semanas.

El primer aspecto a revisar era la cantidad de luz que recibían todas las plantas a diferentes alturas, ya que esta luz es la que van a recibir los animales. Un correcto crecimiento de las plantas significaría que los animales podían habitar el terrario sin problemas. Aunque en un principio se conoce que la luz y radiación iba a ser suficiente gracias a la hoja de especificaciones de la luz elegida (figura 6.5), se prefiere realizar la comprobación para no comprometer la vida de los animales. Tras estudiar el crecimiento de las plantas y musgos, se observa que éstos crecen de manera correcta. Además, que los musgos no se secan significa que la humedad del terrario es correcta y que permanecen humedecidos correctamente gracias al sistema de lluvia y a la cascada instalada.

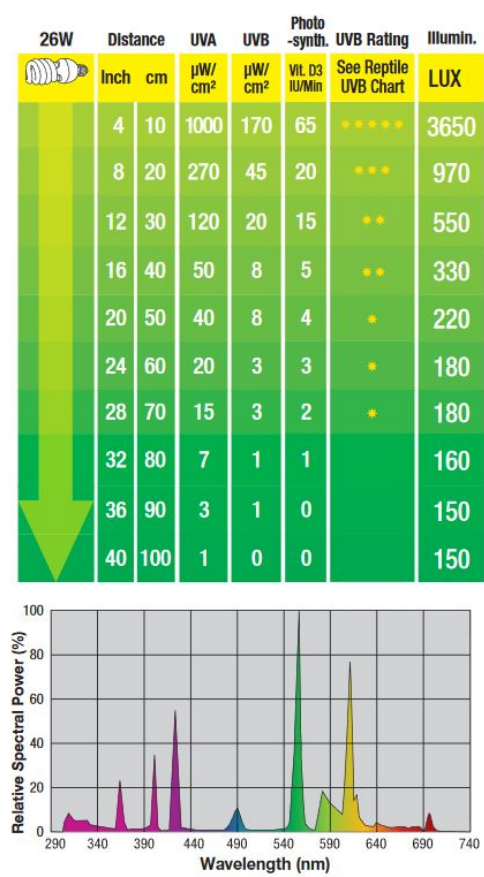


Figura 6.5: Parámetros de la bombilla

■ Cámara

Para comprobar el correcto comportamiento de la cámara, tanto de día como de noche (teniendo la luz IR encendida), y del streaming se prueba a acceder a la página web del terrario tanto de día como de noche obteniendo los resultados de la figura 6.6.





Figura 6.6: Comparativa de la cámara de día y de noche

## 6.2. Consumo

Dado que hoy en día se pretende que los sistemas consuman el mínimo de energía posible, se realiza el cálculo del consumo de todos los componentes que se pueden observar en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Consumos

Componente	W/h	Horas/día verano	W/día verano	Horas/día invierno	W/día invierno
Raspberry Pi 3	1,8	24	43,2	24	43,2
Cable calefactor 25W	25	0	0	8	200
Bombilla	26	9	234	8	208
Bomba de lluvia	48	4 min	3,2	5 min	4
Bomba de cascada	3	24	72	24	72
Placa Peltier	42,5	2,4	102	0	0
Ventilador pequeño	1,2	2,4	2,88	0	0
Ventilador grande	2,16	2,4	5,18	0	0
Total			462,46		527,2

Se realiza una estimación de las horas de uso de cada sistema para saber el consumo tanto en verano como en diciembre, obteniendo 462,46 W/día y 527,2 W/día respectivamente. Por tanto, haciendo una media aproximada de 500W/día y teniendo en cuenta que un mes tiene 30 días se estaría hablando de un consumo de 15 KW por mes. Hablando en coste, si el precio del KW es de 0,12€, se tendría un coste mensual en luz de 1,8€, algo muy sostenible para casi cualquier economía.

## 6.3. Resultados

Tras terminar el proyecto se puede asegurar que se han cumplido todos los objetivos iniciales del proyecto:

- Mantener la temperatura entre unos valores máximos y mínimos. El sistema es completamente capaz de mantener los valores de temperatura entre los valores máximos y mínimos que se establezcan, tanto en verano como en invierno. Recordar que para ésto se cuenta con un actuador que aporta calor, cable calefactor, y otro que aporta frío, célula Peltier.
- Mantener la humedad entre unos valores máximos y mínimos. Al igual que con la temperatura, el terrario domótico permite ajustar la humedad para que se mantenga entre dos intervalos o, si se desea, que intente mantener siempre la temperatura máxima.
- Leer en directo la temperatura y humedad del terrario. Siempre se puede leer la temperatura y humedad actual del terrario en cualquier situación. Si el usuario

se encuentra frente al terrario, podrá leerlo en la pantalla LCD. En caso de encontrarse en cualquier otro lugar, simplemente con acceder a la página web se tendrá la visualización de la temperatura y humedad.

- Ver en directo la actividad del terrario mediante una cámara, tanto de día como de noche. Gracias a la cámara instalada se puede ver en directo qué sucede dentro del terrario, tanto de día como de noche gracias a la luz IR integrada.
- Modificar los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad desde cualquier localización. Se puede cambiar los límites de temperatura y humedad también desde cualquier localización. Para ello, solamente se tiene que acceder a la página diseñada para este fin.
- Poder hacer un control manual del terrario. Desde la pestaña de control de la página web se puede controlar cualquier actuador que se tenga.
- Mostrar en una pantalla LCD los valores principales. Como se ha indicado anteriormente, se cuenta con un LCD en el exterior del terrario donde se muestra en directo la temperatura y humedad, así como otros datos importantes.

En las siguientes figuras se muestra el resultado final de cada página web. En la primera (figura 6.7) se observa la página inicial o "index", que muestra la información básica del sistema. En la siguiente (figura 6.8) se tiene la página de control donde se puede controlar de manera manual el terrario. En la tercera (figura 6.9) se aprecia el menú de ajustes donde se podrá cambiar los parámetros del modo automático, es decir, los parámetros de encendido y apagado de los actuadores. Por último, (figura 6.10) se tiene la página donde se muestra la gráfica de temperatura y humedad con sus valores máximos y mínimos.

En cuanto al terrario físico, en la figura 6.11 se puede ver la parte frontal del terrario acabado. En la siguiente (6.13), es la misma fotografía mientras está activa la lluvia artificial. En la (6.13) se muestra la parte lateral donde va colocado el LCD. Asimismo en la 6.14 puede verse con detalle el LCD montado y, por último, en la 6.15 se muestra la parte superior donde se puede observar el sistema Peltier.

Respecto a las conexiones, en la figura 6.16 se observan las conexiones realizadas en los relés que se sitúan detrás del armario. En cuanto a la figura 6.17 se aprecia toda la parte trasera del terrario. Aquí se puede distinguir el interruptor de apagado en caso de emergencia (arriba a la izquierda), el conector de jack de la fuente de 12V (abajo a la izquierda) y la regleta donde se conectan los actuadores (a la derecha).

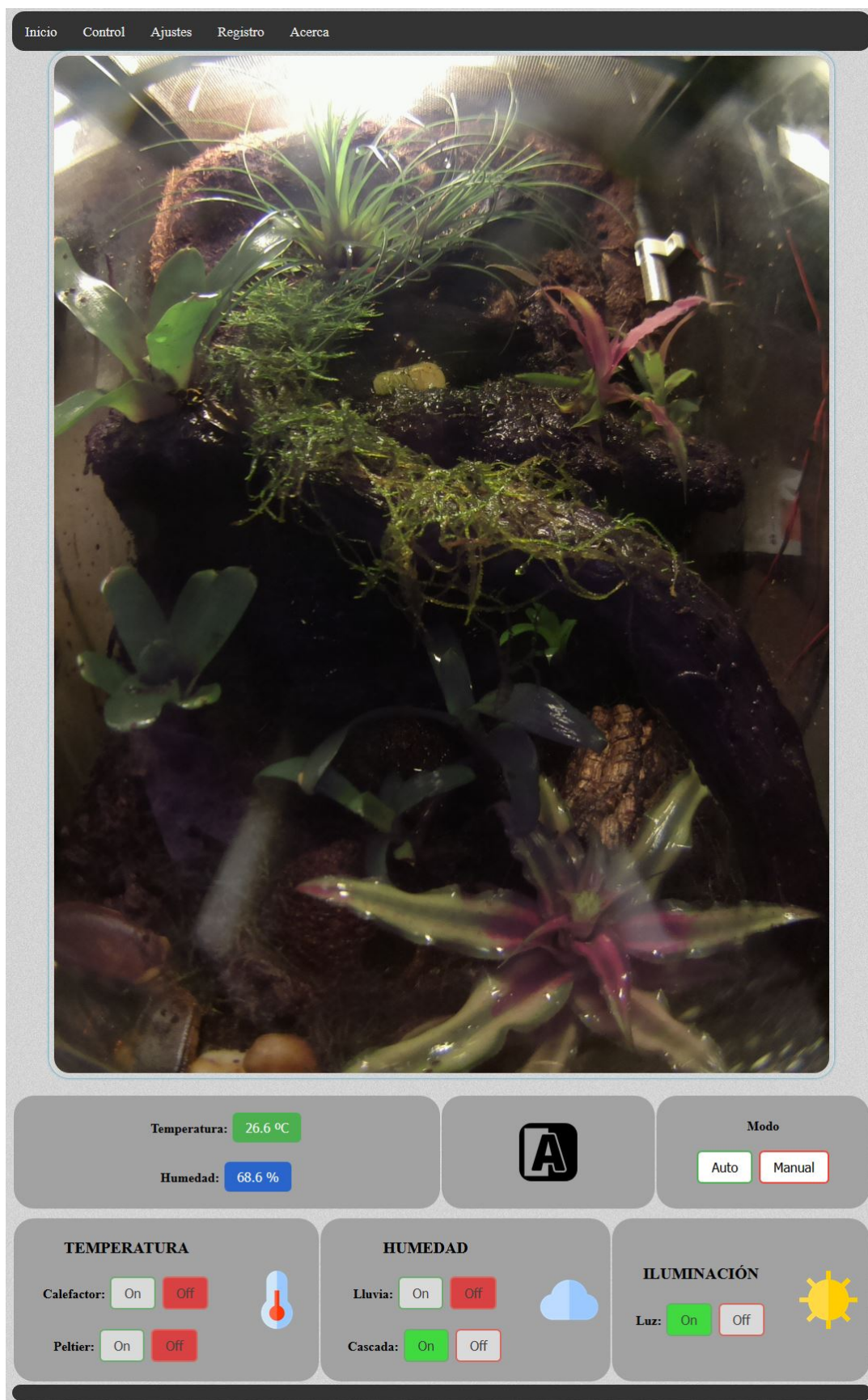


Figura 6.7: Página de inicio



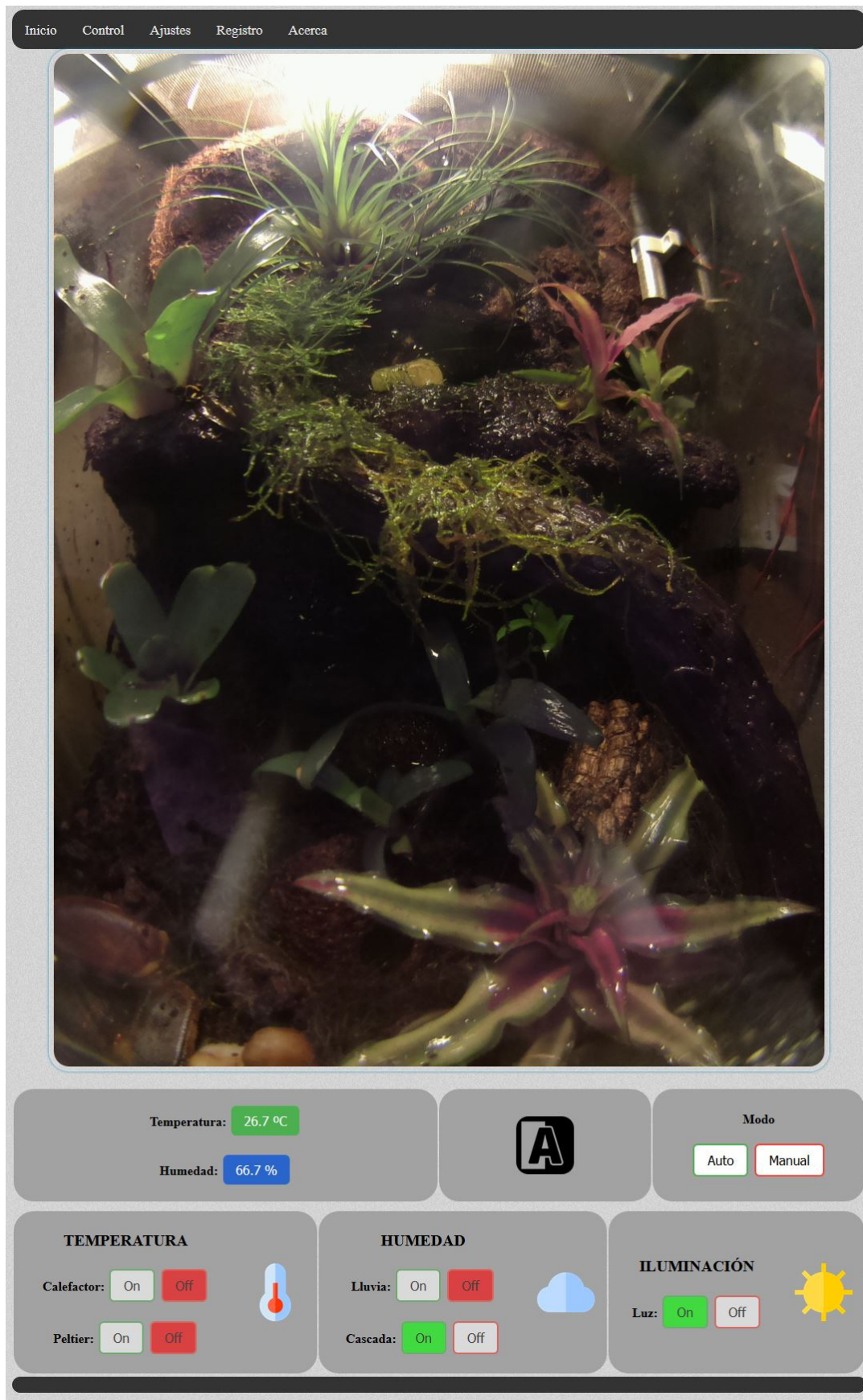


Figura 6.8: Página de control

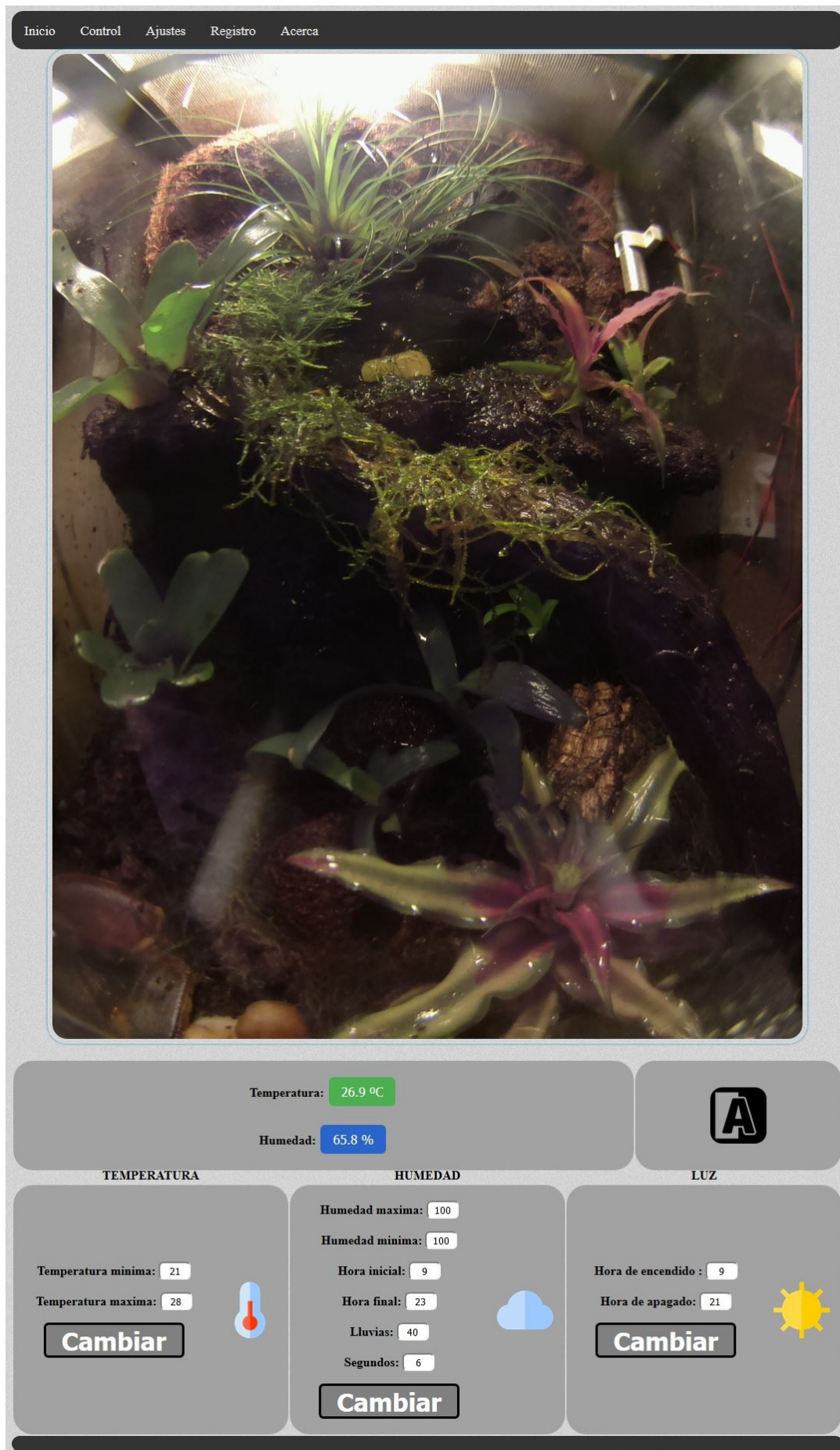


Figura 6.9: Página de ajustes



Figura 6.10: Página del registro





Figura 6.11: Terrario acabado





Figura 6.12: Lluvia artificial



Figura 6.13: Terrario acabado vista LCD





Figura 6.14: Detalle del LCD



Figura 6.15: Parte superior del terrario

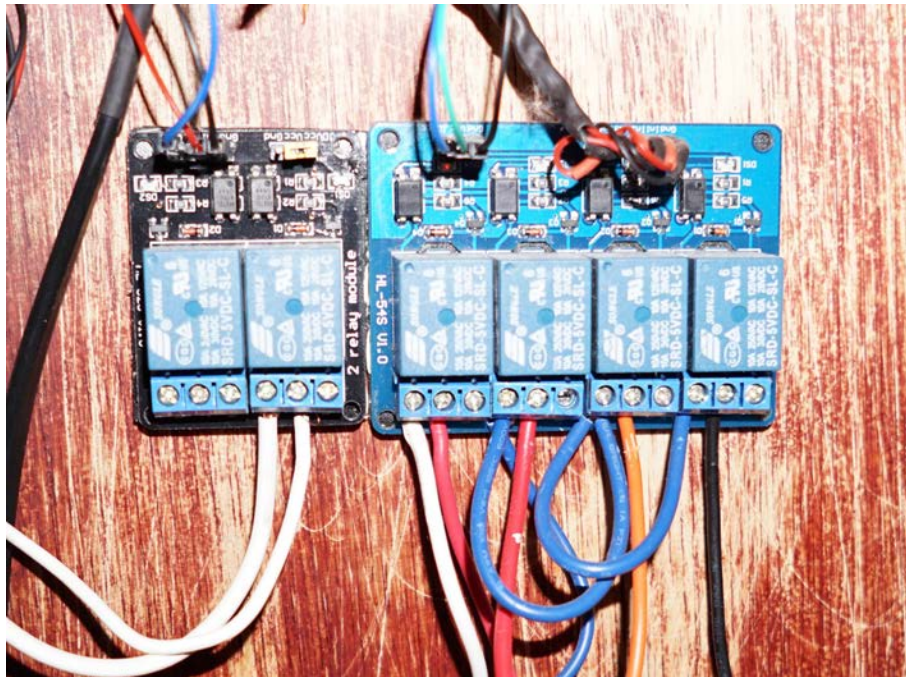


Figura 6.16: Conexiones de los relés

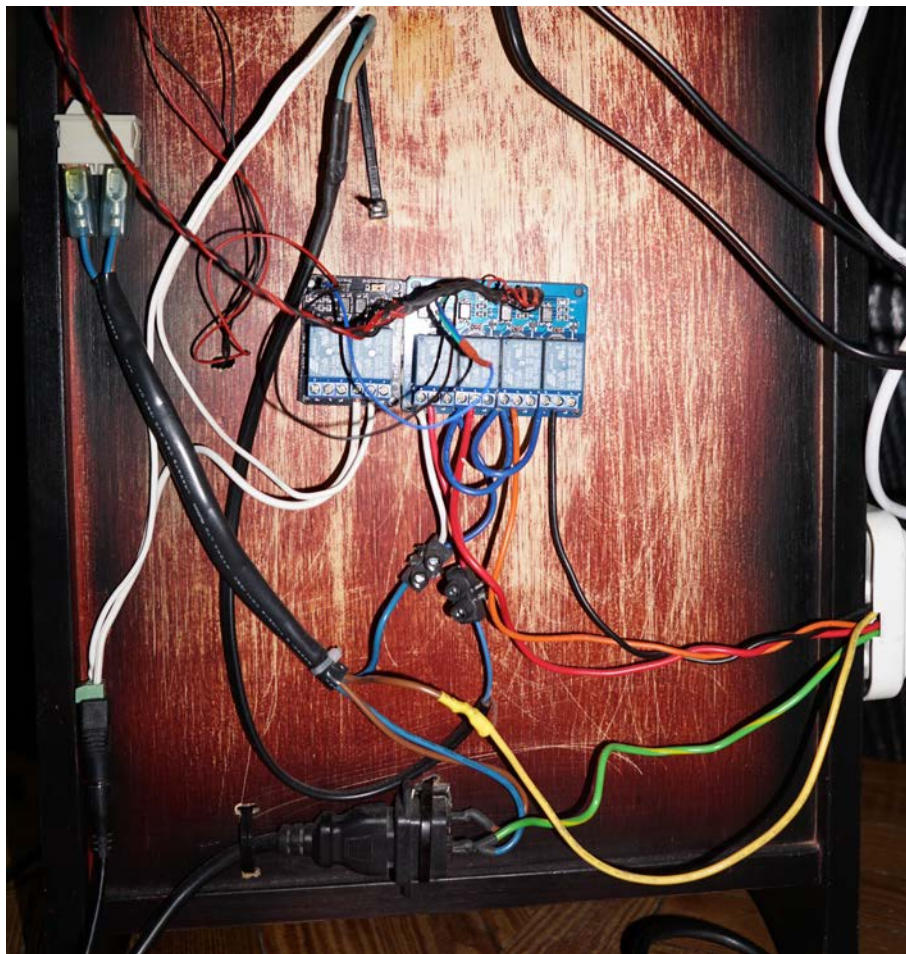


Figura 6.17: Parte trasera del terrario

## 6.4. Discusión

Como se puede ver, se han cumplido todos los objetivos marcados inicialmente. No solamente se ha obtenido un sistema de control automático de los parámetros de un terrario si no que, además, se ha diseñado un sistema muy visual, fácil de usar y compatible con cualquier dispositivo móvil, sobrepasando los objetivos planteados en primer lugar. Con él se podrá acceder desde cualquier lugar al terrario para conocer los valores actuales, máximos o mínimos o, si se prefiere, verlo todo de una forma más visual mediante una gráfica interactiva. Asimismo, se podrán activar y desactivar de forma remota los actuadores por si se quiere tener un control manual sobre el terrario. También de forma remota, se puede variar la configuración del sistema por si se quiere aumentar o disminuir el rango de la temperatura y humedad.

Se trata de sistema único con actuadores suficientes como para mantener a casi cualquier especie elegida en cualquier localización. Además, se puede cambiar la configuración para variar las condiciones climáticas dependiendo de la estación actual, algo muy importante a la hora de la reproducción de los animales.

Cabe destacar que en la actualidad no existe ningún otro sistema parecido que se comercialice. Hasta ahora únicamente existen sistemas muy básicos, que se limitan a encender el calefactor o la cascada en función del sensor que incorporan, y ninguno de ellos permite el control o visualización remota. Con el proyecto elaborado se tiene una interfaz muy intuitiva a la que se puede acceder desde cualquier lugar con internet y desde cualquier dispositivo, ya sea un teléfono móvil, una tablet o un ordenador, ya que la web se adapta al tamaño de la pantalla y es compatible con todos los sistemas (Windows, Android, iOS...). Además, es muy sencillo de utilizar, lo que facilita el uso del mismo sin conocimientos de cómo está realizado su software, pudiendo modificar los ajustes del terrario con un simple click.



## Capítulo 7

# Conclusiones y futuros desarrollos

En este capítulo se presentan las conclusiones y los posibles futuros desarrollos del proyecto.

### 7.1. Conclusiones

Este proyecto hace posible que cualquier persona pueda tener en su casa el tipo de animal exótico que desee. Antes, el tener estos animales en terrarios, era una labor muy difícil y laboriosa. Se tenía que estar muy pendiente de los valores de temperatura y humedad del terrario constantemente, especialmente en los meses de invierno y verano, además de tener que activar o desactivar los sistemas estando presente. Por ejemplo, cuando no estábamos cerca del terrario no se podía saber sus condiciones. Si, por ejemplo, se dejaba el calefactor encendido porque por la mañana hacía frío, según pasan las horas la temperatura iba ascendiendo. En caso de llegar tarde a casa o de no estar pendiente, sería posible que la temperatura subiera en exceso siendo dramático para algunas especies de animales.

Con este proyecto se han eliminado todas estas barreras y se han unido dos mundos que todavía estaban separados, la tecnología y los animales exóticos. Ésto es especialmente importante sabiendo lo unidas que están las personas a sus ordenador y smartphones. Además, se ha creado un entorno seguro para los animales ya que en todo momento se dispone de las condiciones meteorológicas que necesitan para vivir.

Comentar también que, durante el periodo de prueba del terrario del proyecto, los *Dendrobates* introducidos, una pareja de *Dendrobates imitator* hicieron puestas en el interior del terrario, lo que corrobora que se mantienen las perfectas condiciones climáticas para estos animales.

### 7.2. Desarrollos futuros

Algunos de los desarrollos futuros que se podrían incorporar al sistema serían:

- La incorporación de unas tablas de condiciones ideales ligadas a una serie de especies de animales. De tal forma que, cuando se inicie por primera el sistema, aparezca un mensaje en el que se tenga que seleccionar qué animal se tiene. Tras

seleccionarlo, todos los parámetros del terrario se adaptarán para mantener las condiciones ideales de dicha especie. Se trataría de un "wizard" que facilitaría la configuración inicial a los usuarios.

- Habilitar un programa que controlase las horas de luz de forma automática. Es decir, que leyese la hora en la que amanece y en la que anochece para que los animales tengan las horas de luz más reales posibles.
- Añadir un nuevo sensor al falso fondo del terrario (de donde coge el agua la bomba de cascada) para saber la altura del mismo y conocer si es necesario llenar el agua (lloviendo más por ejemplo) o drenar el agua añadiendo una nueva bomba si se quiere que se realice de forma autónoma.



# Capítulo 8

## Anexos

### 8.1. Filamentos 3D

Dado que en el proyecto se van a instalar una serie de piezas impresas, se hace un análisis inicial de los diferentes filamentos que existen en el mercado para elegir el que se va a utilizar. Se van a destacar las siguientes características: Temperatura de impresión, temperatura de deformación, elasticidad, toxicidad y disponibilidad. Mencionar que para las piezas impresas se van a utilizar una impresora 3D de tecnología FDM (Fused Deposition Modeling).

#### ■ PLA

Es el material que más se está utilizando actualmente. Ésto es debido a su facilidad para imprimir cualquier tipo de pieza, desde pequeñas a grandes. Sus puntos a favor son:

- Facilidad de impresión debido a que no sufre tanto efecto warping como otros materiales.
- No necesita cama caliente, por lo que puede imprimirse con casi cualquier tipo de impresora 3D.

Además, el consumo de energía es bastante menor.

- Temperatura de impresión normal, aproximadamente unos 210°C.
- No es tóxico. Proviene de un polímero biodegradable derivado del ácido láctico, obtenido del maíz.
- Fácil de encontrar en tiendas especializadas.

En cuanto a los puntos en contra:

- Su temperatura de deformación es bastante baja. A partir de los 50-60°C es posible que se empiece a deformar.
- Sus propiedades mecánicas son inferiores a las de otros materiales.

#### ■ ABS

Se trata del material más conocido de todos y el que se empezó a utilizar cuando la patente americana que Stratasys expiró. Sus puntos a favor son:

- Fácil de encontrar en tiendas especializadas.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Alta temperatura de deformación, aproximadamente de unos 100-110°C.
- Baja temperatura de impresión, aproximadamente 200°C.
- Fácil de encontrar en tiendas especializadas.

En cuanto a los puntos en contra:

- Difícil de imprimir debido al efecto warping.
- Necesita de cama caliente a una temperatura elevada de, aproximadamente 90-100°C.
- Es tóxico y, durante la impresión, desprende una serie de vapores nocivos.

#### ■ HT

Es un tipo de filamento que se caracteriza por su alta resistencia térmica. Es decir, su temperatura de deformación es mayor que el resto de materiales. Además, sus propiedades mecánicas son muy buenas, parecidas al ABS. No obstante, también requiere de una cama caliente para que se pueda imprimir. Además, la temperatura de impresión es muy elevada, superior a 250°C. Por último, mencionar que su impresión es bastante difícil debido a que aparece warping muy fácilmente.

#### ■ Madera, cobre y bronce

Son filamentos especiales que aportan a la figura el aspecto de dicho material debido a que contiene partículas de éste. Por ejemplo, el material de bronce contiene partículas de bronce mezcladas con PLA que le dan un acabado visual parecido al del metal. No obstante, cabe mencionar que las propiedades mecánicas son bastantes pobres ya que se trata de un material para fines visuales.

#### ■ Filaflex o nGen Flex

Se trata de un tipo de filamentos flexibles que logran imprimir en 3D piezas con cierta flexibilidad y elasticidad. La principal diferencia entre estos dos es el acabado de la pieza, en el caso de Filaflex se obtendrá una pieza algo más flexible que con nGen Flex. En cuanto a facilidad de impresión cada uno tiene sus pros y sus contras. Por ejemplo, imprimir con Filaflex es más complicado debido a que el filamento es mucho más blando y se puede atascar en el extrusor. No obstante, Filaflex no necesita de cama caliente mientras que nGen Flex sí.

#### ■ PVA

El PVA o acetato de polivinilo es un tipo de filamento que se disuelve en agua. Aunque a simple vista parezca algo inútil, es bastante utilizado en la impresión FDM para fabricar los soportes de las piezas 3D. Para esto se tendrá que contar con una impresora con doble extrusor. Básicamente, se imprimirá la pieza en cualquier otro material y los soportes en PVA. A continuación, se sumergirá la pieza en agua tibia durante casi un día. Tras este plazo de tiempo, los soportes habrán desaparecido.

#### ■ Termocromo

Este material cambia de color dependiendo de la temperatura a la que se encuentre. Por tanto, se puede medir la temperatura de diferentes lugares con las piezas impresas que se obtengan. No obstante, cabe mencionar que este tipo de material es más bien algo experimental que algo listo para utilizar.

- XT-CF20 Carbono

Para acabar, se mencionará este filamento que contiene una mezcla de partículas de PLA y fibras de carbono, lo que le otorga unas excepcionales cualidades mecánicas. Además, otorga un llamativo acabado a las piezas.



8.2. Diagrama de conexiones

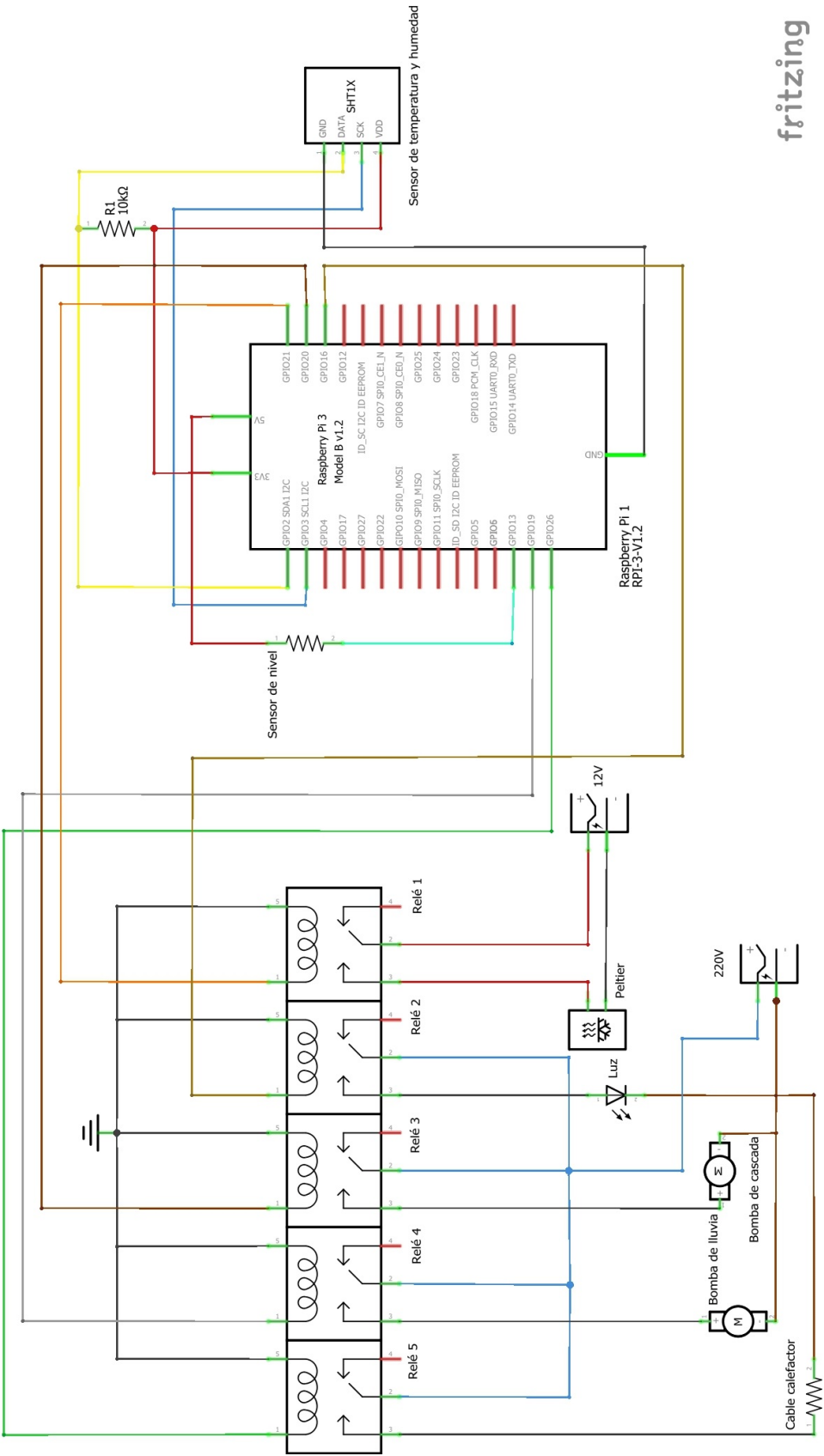


Figura 8.1: Diagrama de conexiones

### 8.3. Datasheet SHT10

#### Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Non-linearity	linearized		<<1		%RH
Response time <sup>3</sup> $\tau$ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift <sup>4</sup>	normal		< 0.5		%RH/yr

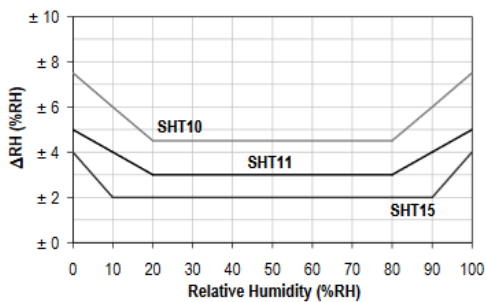


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

#### Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time <sup>6</sup> $\tau$ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

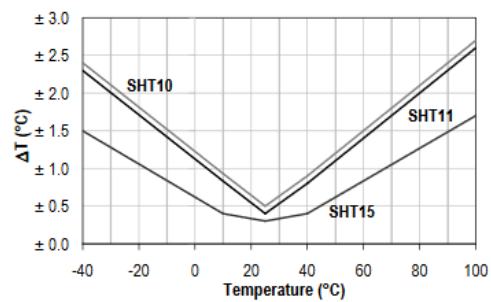


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

#### Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption <sup>5</sup>	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		90		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

#### Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
	Tape & Reel	100	1-100085-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

<sup>1</sup> The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

<sup>2</sup> Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.

<sup>3</sup> Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

<sup>4</sup> Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

<sup>5</sup> Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

<sup>6</sup> Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

Figura 8.2: Datasheet SHT10

## Capítulo 9

# Bibliografía

### Libros

- Dendrobates - guía de las ranas flecha - W. Schmidt , F.W. Henkel - Reptilia Ediciones (12 de mayo de 2005).

### Páginas web

- <http://webiopi.trouch.com/>
- <https://www.w3schools.com/w3css/>
- <https://www.w3schools.com/html/>
- <https://www.raspberrypi.org/>
- <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2014/07/raspberry-pi-b-gpio-header-details-and-pinout/>
- <https://github.com/drohm/pi-sht1x>
- <https://www.adafruit.com/product/1298>
- <http://www.instructables.com/id/Raspberry-PI-and-DHT22-temperature-and-humidity-lo/>
- <https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX>
- <https://github.com/thortex/rpi3-webiopi>
- <https://lilnetwork.com/>
- <https://blog.miguelgrinberg.com/post/how-to-build-and-run-mjpg-streamer-on-the-raspberry-pi>
- <https://plot.ly/>
- <https://www.python.org/>
- <https://www.w3schools.com/js/>
- <http://kaloula-drpez.blogspot.com.es/2012/05/construccion-de-un-terrario-para.html>

- <http://www.tiendanimal.es/>
- <https://learn.sparkfun.com/tutorials/raspberry-gpio/gpio-pinout>
- <http://www.waveshare.com/wiki/>
- <https://blog.miguelgrinberg.com/post/stream-video-from-the-raspberry-pi-camera-to-web-browsers-even-on-ios-and-android>
- <http://desertbot.io/how-to-stream-the-picamera/>
- <http://www.exo-terra.com/>
- <http://www.faunaexotica.net/>
- <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>